



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Industrial

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

**Sistema para obtener balances de carga e índices de
productividad en la fundición de coladas de metal
aplicado en el área de costos de producción**

TESINA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

AUTOR

Leo Claudio ÑAUPARI VELA

ASESOR

Carlos Antonio QUISPE ATÚNCAR

Lima, Perú

2007



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Ñaupari, L. (2007). *Sistema para obtener balances de carga e índices de productividad en la fundición de coladas de metal aplicado en el área de costos de producción*. Tesina para optar el título profesional de Ingeniero Industrial. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Dedicado a Dios y a mis padres
Porque sin ellos
Nunca hubiese sido yo...

SUMARIO

CARATULA	1
DEDICATORIA	2
SUMARIO	3
INTRODUCCION	...6
RESUMEN	...8

CAPITULO 1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Ámbito de la empresa	10
1.2. Productos.	11
1.3. Identificación del problema.	12
1.4. Justificación.	13
1.5. Objetivo general.	14
1.6. Objetivos específicos.	14
1.7. Metodología utilizada.	15

CAPITULO 4. DEFINICIONES CONCEPTUALES.

2.1. Formas Alotrópicas de Hierro.	16
2.2. Aleaciones Hierro-Carbono.	19
4.2.1. Ferrita	20
4.2.2. Cementita	21
4.2.3. Perlita.	22
4.2.4. Austerita.	22
4.2.5. Martensita.	23
4.2.6. Bainita.	24
4.2.7. Ledeburita.	24
2.3. Aceros Aleados.	25
2.3.1 .Efecto de los elementos de aleación en la ferrita	26
2.3.2. Efectos de los elementos de aleación en el carburo	28

2.3.3. Influencia de los elementos de aleación sobre el diagrama	
hierro-carburo de hierro	29
2.3.4. Tipos de aceros aleados.	32
2.3.4.1. Aceros al níquel	32
2.3.4.2. Aceros al cromo	33
2.3.4.3. Aceros al níquel-cromo	34
2.3.4.4. Aceros al manganeso	35
2.3.4.5. Aceros al molibdeno	37
2.3.4.6. Aceros al vanadio	38
2.3.4.7. Aceros al silicio	38
2.3.4.8. Aceros inoxidables	39
2.4. Tipos de Hierro Fundido.	40
2.5. Clasificación de aceros en la empresa metalúrgica MEPSA.....	43

CAPITULO 3. ANALISIS DEL SISTEMA.

3.1. Proceso de producción de una pieza de acero.	55
3.2. Análisis del entorno del sistema.	
3.2.1. Nivel 0: diagrama de contexto.	56
3.2.2. Diagrama lógico- funcional de Balansoft.	58
3.3. Análisis de procesos.	
3.3.1. Descripción del balance de carga en Acería.	61
3.3.2. DFD.	63
3.3.3. Descripción de la dinámica en el uso de las tablas de almacenamiento y manejo de datos.	65
3.3.3.1. Tablas básicas.	65
3.3.3.2. Tablas dinámicas y/o de doble entrada.	65
3.3.3.3. Dinámica y funcionamiento de las tablas.	66
3.3.4. Especificaciones de procesos.	69
5.3.4.1. Definición de variables	70
5.3.4.2. Condiciones para el cálculo	71
5.3.4.3. Pseudocódigo para los procesos del sistema	75

CAPITULO 4. INTERFAZ Y USO DEL SISTEMA.

4.1. Interfaz del Sistema.	83
4.2. Análisis de respuestas.	88

CAPITULO 5. DISCUSION DE RESULTADOS.

CONCLUSIONES CON RESPECTO AL PROCESO DE BALANCE DE CARGA Y PRODUCTIVIDAD	92
---	----

CONCLUSIONES CON RESPECTO AL ENTORNO EN EL QUE FUNCIONA BALANSOFT	93
--	----

RECOMENDACIONES	94
-----------------	----

BIBLIOGRAFIA	95
--------------	----

INTRODUCCION

El acero es una aleación de hierro y carbono, cuyo proceso de producción básico se realiza en dos fases: Primero el mineral de hierro es reducido o fundido con coque y piedra caliza, produciendo hierro fundido que es moldeado como arrabio o conducido a la siguiente fase como hierro fundido. La segunda fase, la de acería, tiene por objetivo reducir el alto contenido de carbono que el coque introdujo al fundir el mineral y eliminar las impurezas tales como azufre y fósforo, al mismo tiempo que algunos elementos como manganeso, níquel, cromo o vanadio son añadidos en forma de ferro-aleaciones para producir el tipo de acero demandado.

En nuestro caso particular no partimos del mineral hierro sino de la chatarra reciclada y es el área de acería, quién se encarga de convertir la chatarra en acero.

Este proceso, se basa en la combinación de chatarra, ferroaleaciones, materiales auxiliares y material reutilizable; Con un previo análisis de balance de carga para todos los componentes implicados. En donde nuestro punto de partida, para el análisis de la variabilidad en los componentes implicados, será

el material reutilizable (regresos). Debido a que su costo es cero y en consecuencia manejar su variabilidad nos permitirá establecer parámetros de productividad.

El objetivo del proyecto es crear un modelo que nos permita manejar la variabilidad en la carga fría para los diferentes metales con respecto a su composición química; Y de esta manera poder establecer escenarios que nos permitan analizar las consecuentes variabilidades en la productividad y en los costos.

Presentaremos entonces el análisis y construcción de “balansoft”, la herramienta informática que nos permitirá cumplir con todos nuestros objetivos planteados.

RESUMEN

El acero es una aleación de hierro y carbono, cuyo proceso de producción básico se realiza en dos fases: Primero el mineral de hierro es reducido o fundido con coque y piedra caliza, produciendo hierro fundido que es moldeado como arrabio o conducido a la siguiente fase como hierro fundido. La segunda fase, la de acería, tiene por objetivo reducir el alto contenido de carbono que el coque introdujo al fundir el mineral y eliminar las impurezas tales como azufre y fósforo, al mismo tiempo que algunos elementos como manganeso, níquel, cromo o vanadio son añadidos en forma de ferro-aleaciones para producir el tipo de acero demandado.

En nuestro caso particular no partimos del mineral hierro sino de la chatarra reciclada y es el área de acería, quién se encarga de convertir la chatarra en acero.

Este proceso, se basa en la combinación de chatarra, ferroaleaciones, materiales auxiliares y material reutilizable; Con un previo análisis de balance de carga para todos los componentes implicados.

Según esto, nuestro punto de partida para el cálculo del balance de carga es establecer una cantidad determinada de regreso para una colada de metal. Consecuente con esto, calculamos la carga con respecto a los demás componentes de la colada evaluando en todo momento el aporte en la composición química de estos.

El Departamento de Acería y el Departamento de Control de Calidad han establecido estándares (El estándar de carga fría por colada de metal y el estándar en la composición química respectivamente) que nos sirven para establecer los parámetros dentro de los cuales debemos obtener nuestros resultados.

Según estos cálculos podemos crear escenarios alternativos con respecto a la carga estándar y al costo de los mismos. Es entonces que crear un escenario simulado nos va a permitir determinar de una manera fácil, precisa y oportuna la productividad de los recursos utilizados y el impacto en los costos de producción que generaría una variabilidad en la carga estándar que el departamento de acería determina.

Básicamente esta es la tarea de “BALANSOFT” un programa diseñado en Microsoft Excel 2003.

CAPITULO I.

ASPECTOS GENERALES

1.1. ÁMBITO DE LA EMPRESA.

METALURGICA PERUANA S.A. - MEPSA - es una fundición de hierro y acero, dedicada al diseño, ingeniería, fabricación y comercialización de piezas de acero y cuerpos molidores (bolas de acero para la molienda de minerales). Las piezas fundidas de MEPSA son utilizadas para numerosas aplicaciones en diversas industrias como la minería, agroindustria, pesquería, industria cementera, entre otras.

MEPSA fue fundada el 12 de mayo de 1960 y cuenta con una planta localizada en un área de 13 hectáreas en Lima, Perú.

Nuestras instalaciones se dividen en dos líneas de producción (Línea de producción de bolas y línea de producción de piezas) independientes que permiten atender al mercado local y a mercados internacionales con una amplia gama de productos de alta calidad.

La experiencia de MEPSA se complementa con la Ingeniería de Desgaste aplicada a la fundición, lo que nos permite el desarrollo del mejor producto en términos de diseño, aleación y calidad para las aplicaciones de nuestros clientes.

Esto es logrado mediante un trabajo continuo de desarrollo y seguimiento a nuestros productos en su punto de aplicación final.

Durante los últimos años MEPSA se ha consolidado como la fundición más grande del Perú con más de 350 trabajadores e ingresos superiores a los 20 millones de dólares, manteniendo una participación de mercado de más del 50% en ambas líneas de producción y convirtiéndose en un importante exportador, destinando el 40% de su producción al mercado externo, especialmente Latinoamérica y EE.UU.

El futuro de MEPSA es aún más brillante, habiendo obtenido un ritmo de crecimiento sostenido en los últimos años de entre 10-15% al año, tendencia que se está manteniendo gracias al crecimiento de sus mercados tradicionales y a la apertura de nuevos mercados como EE.UU. y Europa que le permiten incursionar con piezas de alto valor agregado.

1.2. PRODUCTOS.

a) Minería:

Extracción: Dientes y sus partes para palas, zapatas de oruga para palas perforadoras, cremalleras para lápices de patas, ruedas dentadas y polines para orugas de palas y perforadoras, ruedas acoplamientos y partes para carros mineros.

Concentradoras: Forros para chancadoras giratorias, forros para chancadoras de quijadas, forros y martillos para chancadoras de martillos, forros para chancadoras de rodillos, forros para parrillas de clasificación, placas de desgaste, parrillas para zarandas vibratorias, forros para molinos, muñones y tapas para molinos, Alimentadores para molinos, Zapatas para clasificadores, Vortex finders para ciclones, Partes de

desgaste para bombas de sólidos(cajas, impulsadores, forros de succión, forros lado motor, etc.), Forros para molinos semi-autógenos (S.A.G.)

Fundición y refinería: Ollas y cucharas, Forros para ductos de convertidoras, Marcos, forros y labios para bocas de convertidor, Anillos, polines y engranajes para convertidoras, Quemadores, sopladores, etc. para convertidoras, Moldes para ánodos (Cu, Pb, etc.), Grate bars para máquinas de sinterización, Moldes y lingoteras, Bateas para escoria, Partes y piezas para tostadores, Ruedas engranajes, eslabones, etc. para equipos de fundición y refinería).

b) Cemento

Eslabones y cadenas transportadoras, parrillas para enfriador, selector para bocas de hornos rotatorios, forros para molinos, forros para ciclones.

c) Agroindustria

Piñones de trapiche, masas(rodillos) para trapiche, cuchillas para trapiche, bridas y dados para trapiche, barras desfibrado, martillos para desfibradoras, placas de desgaste para desfibradoras.

1.3.- IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

El cálculo de un balance de carga para las diferentes aleaciones, es determinante para obtener el costo de un metal (aleación) y en consecuencia obtener también de manera significativa el costo de una pieza (debido a que el costo del proceso metálico abarca aproximadamente el 60% del costo total de una pieza de acero)

Esto nos ayuda a plantearnos la siguiente interrogante:

¿Es posible que al manejar y controlar un balance de carga que nos permita obtener índices de productividad, los mismos que al ser comparados con el estándar de producción, reflejen las tendencias en la variabilidad de los costos para las aleaciones y en consecuencia para las piezas producto de estas aleaciones?

Esta interrogante busca ser resuelta a través del uso de **Balansoft** (una aplicación en Microsoft Excel y Visual Basic), cuyo fundamento y creación lógica, se encuentran en este documento.

1.4.-JUSTIFICACION

Balansoft es de vital importancia en nuestra estructura de costos porque responde básicamente a generar un escenario simulado que nos permita obtener de una manera fácil, precisa y oportuna una respuesta a la pregunta: ¿Qué pasaría si...? pretendiendo responder de una manera teórica a todas las interrogantes planteadas con respecto al análisis de productividad y de costos en el aspecto metálico.

La respuesta teórica que se obtenga es muy aproximada a la realidad, lo que busca es precisión y no exactitud. Debido a que los parámetros para el cálculo de un balance de carga responden a fundamentos metalúrgicos muy complejos (los mismos que serán explicados en las definiciones conceptuales). Pero Balansoft ha sido creado bajo un análisis de probabilidad en los datos, de una manera muy cuidadosa y ha conseguido resolver el problema de cálculo lento e impreciso.

Por estas razones Balansoft es imprescindible e importante en la estructura de costos de nuestra empresa. En la actualidad Balansoft es parte fundamental del **Sistema Integrado de Costos (SIC)**, un nivel monousuario creado

recientemente por el autor. Pero su visión es sentar las bases para la creación de un ***Sistema Maestro de Producción*** (aun no existente pero discutido y analizado por el área de sistemas y todas las áreas de operaciones).

1.5.-OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un modelo que nos permita manejar la variabilidad en la carga fría para los diferentes metales con respecto a su composición química; Y de esta manera poder establecer escenarios que nos permitan analizar las consecuentes variabilidades en la productividad y en los costos.

1.6.-OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Obtener matemáticamente nuevas cargas en los componentes para coladas de metal.
- Obtener el costo de un metal o aleación con una carga fría alternativa (variación en el uso de material reutilizable).
- Obtener el costo de un metal o aleación con una composición química alternativa.
- Obtener los índices de productividad totales con respecto al costo de los componentes en una colada de metal.
- Analizar la variabilidad de los costos en todas las aleaciones como consecuencia de una variabilidad en la carga fría.

- Analizar la productividad en todas las aleaciones como consecuencia de una variabilidad en la carga fría.

1.7.- METODOLOGIA UTILIZADA.

Para desarrollar el software se ha seguido los siguientes pasos:

El análisis de la información ha creído conveniente incluir información teórica referencial y parte del análisis propio hecho por el autor, acerca de los fundamentos teóricos sobre los aceros aleados y el hierro fundido. Por ser la composición química de estos, la base en la que se centra nuestro estudio.

El programa se desarrolla en Microsoft Excel pero el pseudo-código y el análisis del sistema pueden ser fácilmente llevados a cualquier otro lenguaje de programación.

Se diseña 3 módulos:

- **Carga fría:** para determinar el peso en la carga fría de los componentes. Calculados en base a las variables: porcentaje de regreso y cantidad total de carga fría.
- **Costos:** Para determinar el costo parcial y total de las coladas.
- **Índices de productividad:** Para calcular los índices de productividad con respecto al costo total del metal.

CAPITULO II.

DEFINICIONES CONCEPTUALES

2.1. FORMAS ALOTRÓPICAS DEL HIERRO

°El hierro cristaliza en la variedad alfa hasta la temperatura de 768°C. La red espacial a la que pertenece es la red cúbica centrada en el cuerpo (BCC). La distancia entre átomos es de 2.86 Å. El hierro alfa no disuelve prácticamente en carbono, no llegando al 0.008% a temperatura ambiente, teniendo como punto de máxima solubilidad a T=723°C (0,02%).

La variedad beta existe de 768°C a 910°C. Cristalográficamente es igual a la alfa, y únicamente la distancia entre átomos es algo mayor: 2.9 Å a 800°C y 2905°C a 900°C.

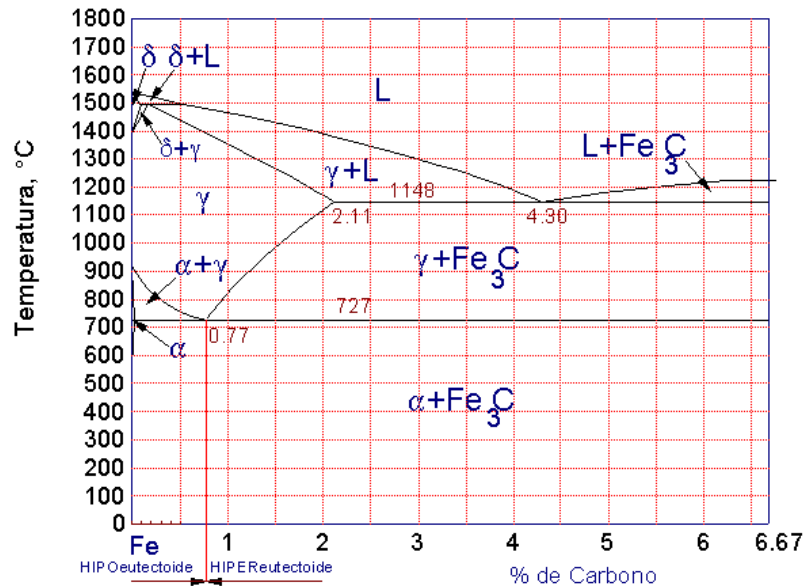
La variedad gamma se presenta de 910°C a 1400°C. Cristaliza en la estructura FCC. El cubo de hierro gamma tiene más volumen que el de hierro alfa. El hierro gamma disuelve fácilmente en carbono, creciendo la solubilidad desde 0.85% a 723°C hasta 1.76% a 1130°C para decrecer hasta el 0.12% a 1487°C. Esta variedad de Fe es amagnético.

°La variedad delta se inicia a los 1400°C, observándose, entonces una reducción en el parámetro hasta 2.93Å, y un retorno a la estructura BCC. Su máxima

<http://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica4/fases%20del%20acero.htm>

° <http://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica4/fases%20del%20acero.htm>

solubilidad de carbono es 0.007% a 1487°C. Esta variedad es poco interesante desde el punto de vista industrial. A partir de 1537°C se inicia la fusión del Fe puro.

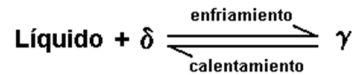


Fuente: <http://www.esi2.us.es/IMM2/Pract-html/diagrama.html>

La adición de elementos de aleación al hierro influye en las temperaturas a que se producen las transformaciones alotrópicas. Entre estos elementos, el más importante es el carbono.

El diagrama hierro-carbono, aun cuando teóricamente representa unas condiciones meta-estables, se puede considerar que en condiciones de calentamiento y enfriamiento relativamente lentas representa cambios de equilibrio.

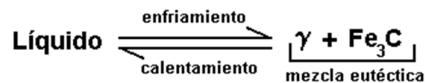
°En el diagrama aparecen tres líneas horizontales, las cuales indican reacciones isotérmicas. La parte del diagrama situada en el ángulo superior izquierdo de la figura se denomina región delta. En ella se reconocerá la horizontal correspondiente a la temperatura de 1493°C como la típica línea de una reacción peritética. La ecuación de esta reacción puede escribirse en la forma.



Fuente: <http://www.esi2.us.es/IMM2/Pract-html/diagrama.html>

La máxima solubilidad del carbono en el hierro delta (de red cúbica centrado en el cuerpo) es 0,10 % de C, mientras que el Fe gamma (de red cúbica centrado en las caras) disuelve al carbono en una proporción mucho mayor. En cuanto al valor industrial de esta región es muy pequeño ya que no se efectúa ningún tratamiento térmico en este intervalo de temperaturas.

La siguiente línea horizontal corresponde a una temperatura de 1129°C, esta temperatura es la de solidificación del eutéctico. y la reacción que en ella se desarrolla es:

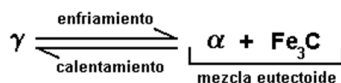


Fuente: <http://www.esi2.us.es/IMM2/Pract-html/diagrama.html>

La mezcla eutética, por lo general, no se ve al microscopio, ya que a la temperatura ambiente la fase gamma no es estable y experimenta otra transformación durante el enfriamiento.

La última línea horizontal, se presenta a los 723°C, esta línea corresponde a la temperatura de formación del eutectoide, y al alcanzarse en un enfriamiento lento la fase gamma debe desaparecer. La ecuación de la reacción eutectoide que se desarrolla puede expresarse por:

° <http://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica4/fases%20del%20acero.htm>



Fuente: <http://www.esi2.us.es/IMM2/Pract-html/diagrama.html>

En función del contenido de carbono suele dividirse el diagrama de hierro-carbono en dos partes: una que comprende las aleaciones con menos del 2 % de carbono y que se llaman aceros, y otra integrada por las aleaciones con más de un 2 % de carbono, las cuales se llaman fundiciones. A su vez, la región de los aceros se subdivide en otras dos: una formada por los aceros cuyo contenido en carbono es inferior al correspondiente a la composición eutectoide (0,77 %C) los cuales se llaman aceros hipoeutectoides, y la otra compuesta por los aceros cuyo contenido se encuentra entre 0,77 y 2 %, y que se conocen por aceros hipereutectoides.

2.2. ALEACIONES HIERRO-CARBONO

¶ El hierro puro apenas tiene aplicaciones industriales, pero formando aleaciones con el carbono (además de otros elementos), es el metal más utilizado en la industria moderna. A la temperatura ambiente, salvo una pequeña parte disuelta en la ferrita, todo el carbono que contienen las aleaciones Fe-C está en forma de carburo de hierro(Fe_3C). Por eso, las aleaciones Fe-C se denominan también aleaciones hierro-carburo de hierro.

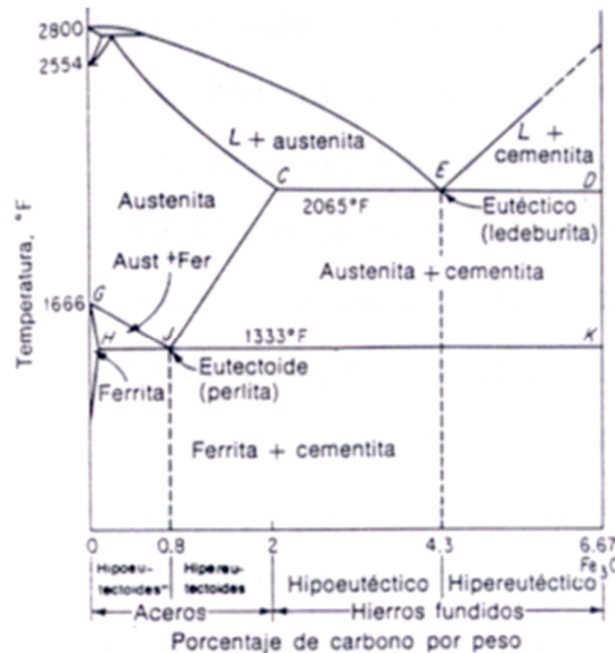
Las aleaciones con contenido de C comprendido entre 0.03% y 1.76% tienen características muy bien definidas y se denominan aceros. Los aceros de cualquier proporción de carbono dentro de los límites citados pueden alearse con otros elementos, formando los denominados aceros aleados o aceros especiales. Algunos aceros aleados pueden contener excepcionalmente hasta el 2.5% de C. Los aceros generalmente son forjables, y es ésta una cualidad muy

¶ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New Cork City Community College–City University of New York.

importante que los distingue. Si la proporción de C es superior a 1.76% las aleaciones de Fe-C se denominan fundiciones, siendo la máxima proporción de C aleado del 6.67%, que corresponde a la cementita pura. Las fundiciones, en general, no son forjables.

- **Tipos de aceros:**

En las aleaciones Fe-C pueden encontrarse hasta once constituyentes diferentes, que se denominan: ferrita, cementita, perlita, austenita, martensita, troostita sorbita, bainita, ledeburita, steadita y grafito.



Fuente: Introducción a la Metalurgia Física, autor Sydney H. Avner

2.2.1. FERRITA

Ⓐ Aunque la ferrita es en realidad una solución sólida de carbono en hierro alfa, su solubilidad a la temperatura ambiente es tan pequeña que no llega a disolver ni un 0.008% de C. Es por esto que prácticamente se considera la ferrita como hierro alfa puro. La ferrita es el más blando y dúctil constituyente de los

Ⓐ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New Cork City Community College–City University of New York.

aceros. Cristaliza en una estructura BCC. Tiene una dureza de 95 Vickers, y una resistencia a la rotura de 28 Kg/mm², llegando a un alargamiento del 35 al 40%. Además de todas estas características, presenta propiedades magnéticas. En los aceros aleados, la ferrita suele contener Ni, Mn, Cu, Si, Al en disolución sólida sustitucional. Al microscopio aparece como granos monofásicos, con límites de grano más irregulares que la austenita. El motivo de esto es que la ferrita se ha formado en una transformación en estado sólido, mientras que la austenita, procede de la solidificación.

La ferrita en la naturaleza aparece como elemento proeutectoide que acompaña a la perlita en:

- Cristales mezclados con los de perlita (0.55% C)
- Formando una red o malla que limita los granos de perlita (0.55% a 0.85% de C)
- Formando agujas en dirección de los planos cristalográficos de la austenita.

2.2.2. CEMENTITA

☞ Es carburo de hierro y por tanto su composición es de 6.67% de C y 93.33% de Fe en peso. Es el constituyente más duro y frágil de los aceros, alcanzando una dureza de 960 Vickers. Cristaliza formando un paralelepípedo ortorrómbico de gran tamaño. Es magnética hasta los 210°C, temperatura a partir de la cual pierde sus propiedades magnéticas. Aparece como:

- Cementita proeutectoide, en aceros hipereutectoides, formando un red que envuelve a los granos perlíticos.
- Componente de la perlita laminar.
- Componente de los glóbulos en perlita laminar.
- Cementita alargada (terciaria) en las uniones de los granos (0.25% de C)

☞ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New Cork City Community College–City University of New York.

2.2.3. PERLITA

º Es un constituyente compuesto por el 86.5% de ferrita y el 13.5% de cementita, es decir, hay 6.4 partes de ferrita y 1 de cementita. La perlita tiene una dureza de aproximadamente 200 Vickers, con una resistencia a la rotura de 80 Kg/mm² y un alargamiento del 15%. Cada grano de perlita está formado por láminas o placas alternadas de cementita y ferrita. Esta estructura laminar se observa en la perlita formada por enfriamiento muy lento. Si el enfriamiento es muy brusco, la estructura es más borrosa y se denomina perlita sorbítica. Si la perlita laminar se calienta durante algún tiempo a una temperatura inferior a la crítica (723 °C), la cementita adopta la forma de glóbulos incrustados en la masa de ferrita, recibiendo entonces la denominación de perlita globular.

2.2.4. AUSTENITA

º Este es el constituyente más denso de los aceros, y está formado por la solución sólida, por inserción, de carbono en hierro gamma. La proporción de C disuelto varía desde el 0 al 1.76%, correspondiendo este último porcentaje de máxima solubilidad a la temperatura de 1130 °C. La austenita en los aceros al carbono, es decir, si ningún otro elemento aleado, empieza a formarse a la temperatura de 723°C. También puede obtenerse una estructura austenítica en los aceros a temperatura ambiente, enfriando muy rápidamente una probeta de acero de alto contenido de C a partir de una temperatura por encima de la crítica, pero este tipo de austenita no es estable, y con el tiempo se transforma en ferrita y perlita o bien cementita y perlita.

Excepcionalmente, hay algunos aceros al cromo-níquel denominados austeníticos, cuya estructura es austenítica a la temperatura ambiente. La austenita está formada por cristales cúbicos de hierro gamma con los átomos de

º Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New Cork City Community College–City University of New York.

carbono intercalados en las aristas y en el centro. La austenita tiene una dureza de 305 Vickers, una resistencia de 100 Kg/mm² y un alargamiento de un 30 %. No presenta propiedades magnéticas.

2.2.5. MARTENSITA

Ⓢ Bajo velocidades de enfriamiento bajas o moderadas, los átomos de C pueden difundirse hacia afuera de la estructura austenítica. De este modo, los átomos de Fe se mueven ligeramente para convertir su estructura en una tipo BCC. Esta transformación gamma-alfa tiene lugar mediante un proceso de nucleación y crecimiento dependiente del tiempo (si aumentamos la velocidad de enfriamiento no habrá tiempo suficiente para que el carbono se difunda en la solución y, aunque tiene lugar algún movimiento local de los átomos de Fe, la estructura resultante no podrá llegar a ser BCC, ya que el carbono está “atrapado” en la solución). La estructura resultante denominada martensita, es una solución sólida sobresaturada de carbono atrapado en una estructura tetragonal centrada en el cuerpo. Esta estructura reticular altamente distorsionada es la principal razón para la alta dureza de la martensita, ya que como los átomos en la martensita están empaquetados con una densidad menor que en la austenita, entonces durante la transformación (que nos lleva a la martensita) ocurre una expansión que produce altos esfuerzos localizados que dan como resultado la deformación plástica de la matriz.

Después de la cementita es el constituyente más duro de los aceros. La martensita se presenta en forma de agujas y cristaliza en la red tetragonal. La proporción de carbono en la martensita no es constante, sino que varía hasta un máximo de 0.89% aumentando su dureza, resistencia mecánica y fragilidad con el contenido de carbono. Su dureza está en torno a 540 Vickers, y su resistencia mecánica varía de 175 a 250 Kg/mm² y su alargamiento es del orden del 2.5 al 0.5%. Además es magnética.

Ⓢ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New Cork City Community College–City University of New York.

2.2.6. BAINITA

Se forma la bainita en la transformación isoterma de la austenita, en un rango de temperaturas de 250 a 550°C. El proceso consiste en enfriar rápidamente la austenita hasta una temperatura constante, manteniéndose dicha temperatura hasta la transformación total de la austenita en bainita.

2.2.7. LEDEBURITA

La ledeburita no es un constituyente de los aceros, sino de las fundiciones. Se encuentra en las aleaciones Fe-C cuando el porcentaje de carbono en hierro aleado es superior al 25%, es decir, un contenido total de 1.76% de carbono.

La ledeburita se forma al enfriar una fundición líquida de carbono (de composición alrededor del 4.3% de C) desde 1130°C, siendo estable hasta 723°C, decomponiéndose a partir de esta temperatura en ferrita y cementita

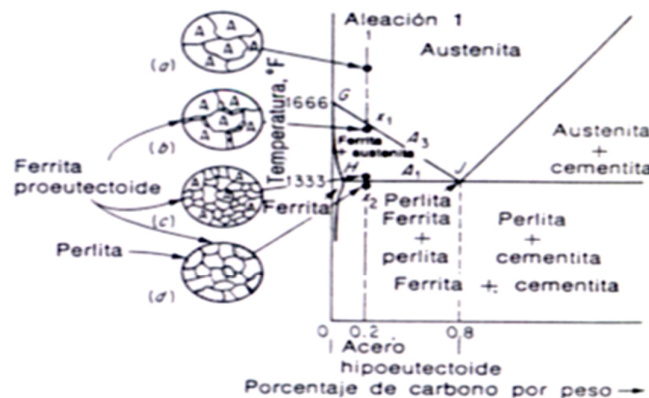


Fig. 7.10 Representación esquemática de los cambios en microestructura durante el enfriamiento lento de acero al 0.20% de carbono. a) Austenita; b) formación de granos de ferrita en las fronteras de grano de austenita; c) crecimiento de granos de ferrita —la composición de austenita es ahora de 0.8% de carbono; d) la austenita se transforma a perlita a 1333°F.

Fuente : Introducción a la Metalurgia Física, autor Sydney H. Avner

Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New Cork City Community College—City University of New York.

2.3. ACEROS ALEADOS

Ⓢ Los aceros al carbono son muy satisfactorios donde la resistencia y otros requisitos no son muy severos. Estos aceros se usan con todo éxito a temperaturas comunes y en atmósferas que no son altamente corrosivas. Pero su templabilidad relativamente baja limita la resistencia que pueda obtenerse, excepto en secciones regularmente delgadas.

Casi todos los aceros endurecidos se revienen para reducir tensiones internas.

Los aceros al carbono muestran una marcada suavidad con el incremento de la temperatura de revenido. Este comportamiento disminuirá su aplicabilidad para piezas que requieren dureza por arriba de la temperatura ambiente. La mayoría de limitaciones de los aceros al carbono pueden vencerse mediante el uso de elementos de aleación.

Un acero aleado puede definirse como aquel cuyas propiedades características se deben a un elemento diferente del carbono. Aunque todos los aceros al carbono contienen moderadas cantidades de manganeso (hasta 0.90%) y silicio(hasta0.30%) no se consideran aleados. Porque la función principal del manganeso y del silicio es actuar como desoxidantes. Ellos se combinan con el oxígeno y con el azufre, para reducir el efecto nocivo de dichos elementos.

Propósito de la aleación.

Los elementos de aleación se añaden a los aceros para muchos propósitos, entre los cuales los mas importantes son:

1. Aumentar la templabilidad.
2. Mejorar la resistencia a temperaturas comunes.

Ⓢ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New York City Community College–City University of New York.

3. Mejorar las propiedades mecánicas tanto a altas como a bajas temperaturas.
4. Mejorar la tenacidad a cualquier dureza o resistencia mínima.
5. Aumentar la resistencia al desgaste.
6. Aumentar la resistencia a la corrosión.
7. Mejorar las propiedades magnéticas.

Los elementos de aleación pueden clasificarse de acuerdo con la forma en que se distribuyan en los dos constituyentes principales de un acero recocido.

Grupo 1 Elementos que se disuelven en ferrita, y

Grupo 2 Elementos que se combinan con carbono para formar carburos simples o complejos.

2.3.1. Efecto de los elementos de aleación en la ferrita

¶ Desde el punto de vista técnico, probablemente hay alguna solubilidad de todos los elementos en la ferrita, pero ciertos elementos no se encuentran extensivamente en la fase carburo. De esta manera, el níquel, el aluminio, el silicio, el cobre y el cobalto se hallan ampliamente disueltos en ferrita. En ausencia de carbono, se encontrarán disueltas en ferrita grandes proporciones de elementos del grupo 2; por tanto, la tendencia a formar carburos es obvia sólo cuando hay gran cantidad de carbono. La tabla 9.1 muestra el comportamiento de los elementos individuales, y la tendencia relativa de ciertos elementos a existir en ambos grupos se indica por el tamaño de la punta de las flechas.

Cualquier elemento disuelto en ferrita aumenta su dureza y su resistencia de acuerdo con los principios generales del endurecimiento por solución sólida, El orden de incremento de efectividad en hierro reforzado, basada en adiciones

¶ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New York City Community College–City University of New York.

iguales por peso, parece ser como sigue: cromo, tungsteno, vanadio, molibdeno, níquel, manganeso y silicio (fig. 9.1).

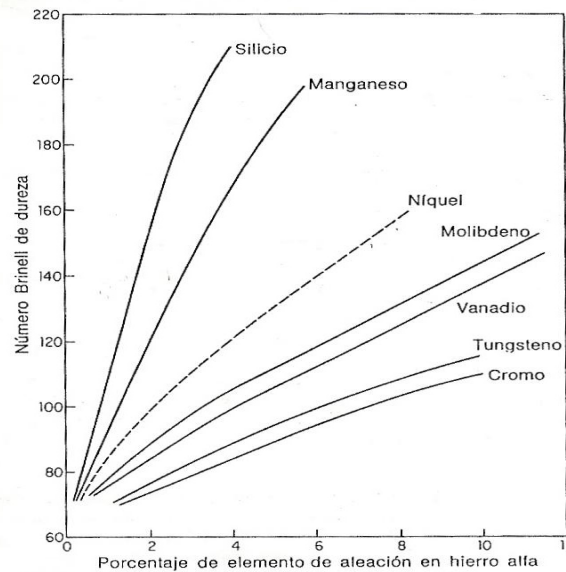


Fig. 9.1 Probable efecto de endurecimiento de varios elementos disueltos en hierro alfa. (Tomada del libro de E. C. Bain y H. W. Paxton, *Alloying elements in steel*, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1961.)

Fuente: Introducción a la Metalurgia Física, autor Sydney H. Avner
Cáp. 9. Pág. 351

φ El efecto de endurecimiento de los elementos disueltos es realmente insignificante e ilustra cuán relativamente pequeña es la contribución del reforzamiento de la ferrita a la resistencia total del acero. Esto se muestra en la figura 9.2 para aleaciones al cromo de aceros al bajo carbono. La curva superior indica la influencia del cromo para modificar la resistencia tensil cambiando la estructura, en tanto que la curva inferior indica la menor influencia del cromo en estructuras esencialmente constantes.

φ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New York City Community College—City University of New York.

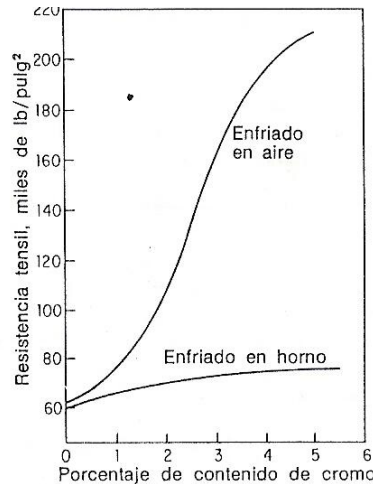


Fig. 9.2 Menor efecto del cromo en los aceros recocidos, comparado con su gran efecto como reforzador mediante la influencia que ejerce sobre la estructura de los aceros enfriados en aire. (Tomada del libro de E. C. Bain y H. W. Paxton, *Alloying elements in steel*, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1961.)

Fuente : Introducción a la Metalurgia Física, autor Sydney H. Avner

2.3.2. Efectos de los elementos de aleación en el carburo

φ Como todos los carburos encontrados en los aceros son duros y frágiles, su efecto en las propiedades tensiles a temperatura ambiente es análoga, sin importar la composición específica.

La presencia de elementos que forman carburos influye en la temperatura de endurecimiento y el tiempo necesarios para obtener un calentamiento total y uniforme.

Los carburos son lentos de disolver y tienden a no disolverse en austenita. Esto hace que disminuyan los contenidos de carbono y aleación en la austenita a una cantidad por debajo de la cual tiene el acero en general. Los carburos no disueltos también actúan para reducir el crecimiento de grano. Ambos efectos tienden a reducir la templabilidad. Cuando están disueltos en austenita, los

φ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New Cork City Community College–City University of New York.

elementos formadores de carburo favorecen grandemente el endurecimiento profundo.

Aunque todos los carburos encontrados en el acero son compuestos duros y frágiles, los carburos de cromo y vanadio resultan excepcionales en dureza y resistencia al desgaste. La dureza y la resistencia al desgaste de los aceros aleados ricos en carburos las determinan en gran medida la cantidad, el tamaño y la distribución de estas partículas duras. A su vez, estos factores son controlados por la composición química, el método de manufactura y el tratamiento térmico.

2.3.3. Influencia de los elementos de aleación sobre el diagrama hierro-carburo de hierro

¶ Cuando un tercer elemento se añade al acero, el diagrama binario hierro-carburo de hierro no es ya una representación de condiciones de equilibrio., la presencia de los elementos de aleación cambiara el intervalo crítico, la posición del punto eutectoide y la localización de los campos alfa y gamma indicados por el diagrama binario hierro-carburo de hierro.

El níquel y el manganeso tienden a disminuir la temperatura crítica en calentamiento, en tanto que el molibdeno, el aluminio, el silicio, el tungsteno y el vanadio tienden a aumentarla. El cambio en la temperatura crítica producido por la presencia de elementos de aleación es importante en el tratamiento térmico de aceros aleados, ya que aumentará o disminuirá la temperatura crítica de endurecimiento al ser comparada con la correspondiente a un acero ordinario.

El punto eutectoide cambia de la posición que suele tener en el diagrama hierro-carburo de hierro. Todos los elementos de aleación tienden a reducir el contenido de carbono del eutectoide, pero sólo el níquel y el manganeso reducen la temperatura eutectoide (fig. 9.3) Aumentar las cantidades de níquel ¶ y manganeso puede disminuir la temperatura crítica lo suficiente para evitar la

¶ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New Cork City Community College–City University of New York.

¶ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New Cork City Community College–City University of New York.

transformación de la austenita durante el enfriamiento lento; se conocen como elementos estabilizadores de la austenita. Por tanto, la austenita se retendrá a temperatura ambiente. Esta situación se presenta en los aceros austeníticos inoxidables.

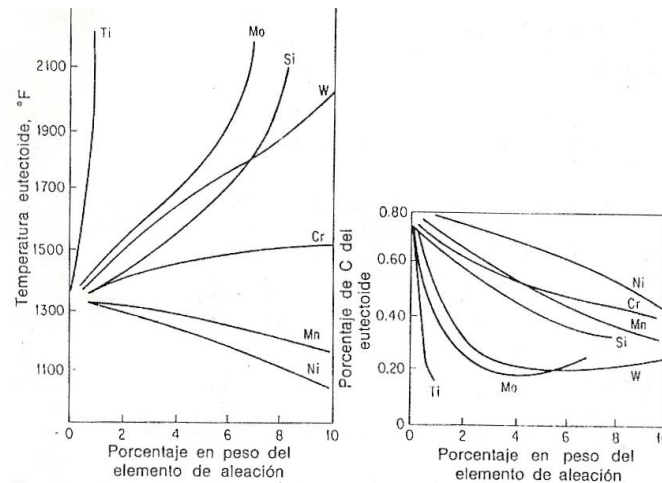


Fig. 9.3 Composición y temperatura eutéctoides influidas por diversos elementos de aleación. (Tomada del libro de E. C. Bain y H. W. Paxton, *Alloying elements in steel*, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1961.)

Fuente : Introducción a la Metalurgia Física, autor Sydney H. Avner

- Ciertos elementos de aleación, principalmente el molibdeno, el cromo, el silicio y el titanio, en cantidades mayores, tienden a contraer la región pura austenítica y a aumentar el campo en el cual se encuentra el hierro alfa (α) o delta (δ). Este cambio se muestra en la figura 9.4, en la cual las líneas llenas representan la contracción del campo austenítico con el aumento de las cantidades del elemento de aleación. Las composiciones aleadas a la derecha de los "triángulos" serán grandemente austeníticas con crecientes cantidades de carburo, en tanto que en las de la izquierda de las áreas de austenita se encontrará austenita con más o menos ferrita (soluciones con hierro α o δ).

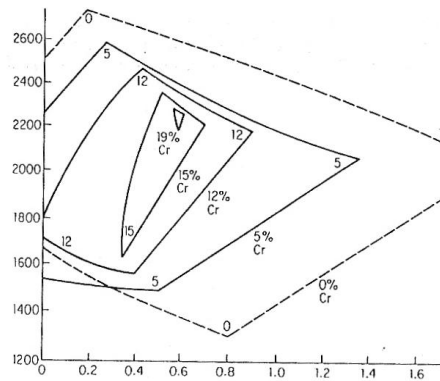


Fig. 9.4 Intervalo de austenita en los aceros al cromo. (Tomada del libro *Metals handbook*, ed. de 1948, American Society for Metals, Metals Park, Ohio.)

Fuente : Introducción a la Metalurgia Física, autor Sydney H. Avner

Resumen de los efectos específicos de los elementos de aleación en el acero

TABLA 9.2 Efectos específicos de los elementos de aleación en el acero*

ELEMENTO	SOLUBILIDAD SÓLIDA		INFLUENCIA EN LA FERRITA	INFLUENCIA EN LA AUSTENITA (PROF/DIST. DE DUREZA)	INFLUENCIA EJERCIDA POR MEDIO DEL CARBURO		FUNCIONES PRINCIPALES
	EN HIERRO GAMMA	EN HIERRO ALFA			TENDENCIA A FORMAR CARBURO	ACCIÓN DURANTE EL REVENIDO	
Aluminio	1.1% (aumentado por C)	36%	La endurece considerablemente por solución sólida	Si se disuelve en austenita, aumenta ligeramente la templabilidad	Negativa (grafitiza)	...	1. Desoxida eficazmente 2. Restringe el crecimiento de grano (por formación de óxidos o nitruros dispersos) 3. Elemento de aleación en la nitruración del acero
Cromo	12.8% (20% con 0.5% C)	Ilimitada	La endurece ligeramente; aumenta la resistencia a la corrosión	Aumenta la templabilidad moderadamente	Mayor que Mn; menor que W	Contrarresta ligeramente al suavizamiento	1. Aumenta la resistencia a la corrosión y a la oxidación 2. Aumenta la templabilidad 3. Añade alguna resistencia a altas temperaturas 4. Resiste la abrasión y al desgaste (con alto contenido de carbono)
Cobalto	Ilimitada	75%	La endurece considerablemente por solución sólida	Cuando está disuelto disminuye la templabilidad	Semejante al Fe	Mantiene la dureza por efecto de la solución sólida	1. Contribuye a conservar la dureza al rojo, endureciendo la ferrita
Manganeso	Ilimitada	3%	La endurece marcadamente; reduce la plasticidad	Aumenta moderadamente la templabilidad	Mayor que Fe; menor que Cr	Muy poca, en porcentajes usuales	1. Contrarresta la fragilidad debida al azufre 2. Aumenta a bajo costo la templabilidad
Molibdeno	3% ± (8% con 0.3% C)	37.5% (menor con temperatura disminuida)	Proporciona un sistema de endurecido por envejecido en los aceros aleados con alto Mo-Fe	Aumenta fuertemente la templabilidad (Mo > Cr)	Fuerte; mayor que Cr	Se opone al suavizamiento, por endurecimiento secundario	1. Eleva la temperatura del inicio de crecimiento del grano de la austenita 2. Profundiza el endurecimiento 3. Contrarresta la tendencia a la fragilidad por revenido 4. Aumenta las resistencias a alta temperatura, a la fluencia y a la dureza al rojo 5. Mejora la resistencia a la corrosión en aceros inoxidables 6. Forma partículas resistentes a la abrasión
Níquel	Ilimitada	10% (independiente del contenido de carbono)	La hace resistente y tenaz por solución sólida	Aumenta ligeramente la templabilidad pero tiende a retener austenita con alto contenido de carbono	Negativa (grafitiza)	Muy poca en pequeños porcentajes	1. Hace resistentes los aceros no templados o recocidos 2. Hace tenaces los aceros perlítico-ferríticos (especialmente a baja temperatura) 3. Austeniza las aleaciones de hierro al alto cromo

Fuente: Introducción a la Metalurgia Física, autor Sydney H. Avner - Pág. 355

TABLA 9.2 (Continuación)

ELEMENTO	SOLUBILIDAD SÓLIDA		INFLUENCIA EN LA FERRITA	INFLUENCIA EN LA AUSTENITA (PROF/DIST. DE DUREZA)	INFLUENCIA EJERCIDA POR MEDIO DEL CARBURO		FUNCIONES PRINCIPALES
	EN HIERRO GAMMA	EN HIERRO ALFA			TENDENCIA A FORMAR CARBURO	ACCIÓN DURANTE EL REVENIDO	
Fósforo	0.5%	2.8% (Independiente del contenido de carbono)	La endurece fuertemente por solución sólida	Aumenta la templabilidad	Despreciable	...	1. Aumenta la resistencia del acero al bajo carbono 2. Aumenta la resistencia a la corrosión 3. Mejora la maquinabilidad en los aceros de cortado libre (aceros rápidos)
Silicio	2% ± (9% con 0.35% C)	18.5% (no cambio mucho con el contenido de carbono)	La endurece con pérdida en plasticidad (Mn < Si < P)	Aumenta moderadamente la templabilidad	Negativa (grafitiza)	Sostiene la dureza por solución sólida	1. Se emplea como desoxidador de propósito general 2. Elemento de aleación para láminas eléctricas y magnéticas 3. Mejora la resistencia a la corrosión 4. Aumenta la templabilidad de los aceros que no tienen elementos grafitizadores 5. Hace resistentes los aceros de baja aleación
Titano	0.75% ± 1% ± con 0.20% C)	6% ± (menos con temperatura disminuida)	Proporciona un sistema de endurecimiento por envejecido en aleaciones con alto contenido de Ti-Fe	Probablemente aumenta muy fuerte la templabilidad al estar disuelto. Los efectos del carburo reducen la templabilidad	La mayor que se conoce (2% de Ti hace que el acero con 0.50% de carbono no se pueda endurecer)	Los carburos persistentes probablemente no se afectan. Algún endurecimiento secundario	1. Fija el carbono en partículas inertes a) Reduce la dureza martensítica y la templabilidad en aceros al cromo medio b) Previene la formación de austenita en aceros al alto cromo c) Previene el agotamiento localizado de cromo en aceros inoxidable durante un largo calentamiento
Tungsteno	6% (11% con 0.25% C)	33% (menos con temperatura disminuida)	Proporciona un sistema de endurecimiento por envejecido en aleaciones con alto W-Fe	Aumenta fuertemente la templabilidad en pequeñas cantidades	Fuerte	Se opone al suavizamiento por endurecimiento secundario	1. Forma partículas duras y resistentes a la abrasión en aceros para herramientas 2. Promueve la dureza y la resistencia a altas temperaturas
Vanadio	1% (4% con 0.20% C)	Ilimitada	La endurece moderadamente por solución sólida	Aumenta fuertemente la templabilidad cuando está disuelto	Muy fuerte (V < Ti o Cb)	Máxima por endurecimiento secundario	1. Eleva la temperatura de inicio de crecimiento del grano de la austenita (promueve el grano fino) 2. Aumenta la templabilidad (cuando está disuelto) 3. Resiste el revenido y produce un marcado endurecido secundario

Fuente: Introducción a la Metalurgia Física, autor Sydney H. Avner - Pág. 356

2.3.4. TIPOS DE ACEROS ALEADOS

2.3.4.1. Aceros al níquel (serie 2xxx)

☐ El níquel es uno de los más viejos y el más fundamental de los elementos de aleación de los aceros. Tiene ilimitada solubilidad en hierro gamma (γ) y es altamente soluble en ferrita, contribuyendo a la resistencia y tenacidad de esta fase. Además, disminuye las temperaturas críticas del acero, amplía el intervalo de temperatura para un tratamiento térmico exitoso, retarda la descomposición de la austenita y no forma carburos que puedan resolverse con dificultad durante la austenización. Asimismo, reduce el contenido de carbono del eutectoide; por tanto, la estructura de los aceros no endurecidos al níquel contiene mayor porcentaje de perlita que los aceros al carbono tratados de manera similar. Como la perlita se forma a una temperatura menor, es más fina y tenaz que la de los aceros no aleados. Estos factores permiten obtener ciertos niveles de resistencia

☐ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New York City Community College—City University of New York.

con inferiores contenidos de carbono, incrementando de esta manera la tenacidad, la plasticidad y la resistencia a la fatiga. Los aceros al níquel son altamente adecuados para los aceros estructurales de gran resistencia, los cuales se utilizan en la condición de laminado o para grandes forjas no adaptables al templado. Los aceros al 3.5% de níquel (serie 23xx) con bajo contenido de carbono se emplean extensiva mente para carburizar engranes de transmisión, tornillos de bielas. pernos y seguros (chavetas). Los aceros al 5% de níquel (serie 25xx) proporcionan mayor tenacidad y se utilizan para aplicaciones de trabajo pesado, como engranes para camiones y autobuses, levas y cigüeñales. El níquel tiene sólo un ligero efecto sobre la templabilidad. pero es relevante en su capacidad para mejorar la tenacidad. sobre todo a bajas temperaturas.

Aunque los aceros al níquel de la serie 2xxx se han eliminado de la clasificación AISI-SAE de aceros aleados estándar, no significa que no se manufacturen. Eliminar la clasificación simplemente significa que el tonelaje producido esta por debajo de cierto mínimo. Los aceros en esta serie se han reemplazado ampliamente en muchas aplicaciones por los aceros más económicos, de triple aleación, de la serie 86xx.

2.3.4.2. Aceros al cromo (serie 5xxx)

φEl cromo es un elemento de aleación menos costoso que el níquel y forma carburos simples (Cr_7C_3 , Cr_4C) o carburos complejos $[(\text{FeCr})_3\text{C}]$. Estos carburos tienen alta dureza y buena resistencia al deterioro. El cromo es soluble hasta en 13% en hierro y tiene solubilidad ilimitada en ferrita α . En los aceros de bajo carbono, el cromo tiende a entrar en la solución, incrementando de esta manera la resistencia y la tenacidad de la ferrita. Cuando el cromo está presente en cantidades que exceden al 5 %, las propiedades a altas temperaturas y la resistencia a la corrosión del acero se ven ampliamente mejoradas.

φ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New Cork City Community College–City University of New York.

Los aceros al cromo de la serie 51xx contienen entre 0.15 y 0.64 % de carbono y de 0.70 a 1.15 % de cromo. Los aceros aleados de bajo carbono de esta serie generalmente se carburizan. La presencia del cromo aumenta la resistencia al desgaste de la superficie endurecida, pero la tenacidad en la parte interna no es tan alta como en los aceros al níquel. Al medio carbono, estos aceros son endurecibles en aceite y se utilizan para resortes, tornillos para motores, pernos, ejes, etc. Un acero aleado (52100) al alto carbono (1 %) y al alto cromo (1.5%) se caracteriza por la gran dureza y resistencia al desgaste. Este acero se utiliza ampliamente para cojinetes de bolas y rodillos y para maquinaria de trituración. Un tipo especial de acero al cromo con 1 % de carbono y de 2 a 4% de cromo tiene excelentes propiedades magnéticas y se emplea para imanes permanentes.

2.3.4.3. Aceros al níquel-cromo (serie 3xxx)

¶En estos aceros, la razón de níquel a cromo es de aproximadamente 2 1/2 partes de níquel por una parte de cromo. Una combinación de los elementos de aleación generalmente presenta algunas de las propiedades características de cada uno. El efecto del níquel de aumentar la tenacidad y la ductilidad se combina con el efecto del cromo de mejorar la templabilidad y la resistencia al desgaste. Es importante recordar que el efecto combinado de dos o más elementos de aleación sobre la profundidad y distribución de la dureza suele ser mayor que la suma de los efectos de los mismos elementos de aleación utilizados por separado.

Los aceros aleados al níquel-cromo de bajo contenido de carbono se carburizan. El cromo proporciona la resistencia al desgaste de la superficie endurecida, mientras que ambos elementos de aleación mejoran la tenacidad de la porción interna. Con 1.5 % de níquel y 0.60 % de cromo (serie 31 xx.) se utilizan para formar engranes helicoidales, pernos para pistón, etc. Para aplicaciones de trabajo pesado, como engranes para avión, flechas y levas, el contenido de

¶ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New York City Community College–City University of New York.

níquel se aumenta a 3.5% y el contenido de cromo a 1.5 % (serie 33xx). Los aceros al níquel-cromo de contenido medio de carbono se utilizan en la manufactura de bielas automotrices y flechas de transmisión.

Como en el caso de los aceros al níquel, los aceros de esta serie también se han eliminado de la clasificación. En muchos casos, estos aceros se han reemplazado por los aceros de triple aleación de las series 87xx y 88xx, debido a su costo menor.

2.3.4.4. Aceros al manganeso (serie 31xx)

¶ El manganeso es uno de los elementos de aleación menos costosos y está presente en todos los aceros como desoxidador; asimismo, reduce la tendencia a la fragilidad en caliente (fragilidad al rojo), resultante de la presencia del azufre, permitiendo de ese modo que el metal se trabaje en caliente. Cuando no hay manganeso o hay muy poco, el sulfuro predominante es FeS, el cual constituye un eutéctico con hierro y tiende a formar continuas películas delgadas alrededor de los cristales primarios durante la solidificación del acero. Estas películas son líquidas a la temperatura de laminación del acero y producen una condición de fragilidad en caliente, la cual tiende a producir fisuras a través de las fronteras de grano durante el trabajo. El manganeso es notable por su poder para combinarse con el azufre, y el sulfuro de manganeso tiene un punto de fusión mucho mayor que el sulfuro de hierro eutéctico, además de que se conserva sólido a la temperatura de laminación y tiene un efecto menos adverso sobre las propiedades de trabajo en caliente del acero.

Sólo cuando el contenido de manganeso excede un 0.80%, se puede clasificar al acero como un acero aleado. El manganeso contribuye marcadamente a la resistencia y a la dureza, pero en menor grado que el carbono y es más efectivo en los aceros de mayor contenido de carbono. Este elemento es un débil

¶ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New York City Community College–City University of New York.

formador de carburo y tiene un efecto moderado sobre la templabilidad. Como el níquel, el manganeso disminuye tanto el intervalo crítico como el contenido de carbono del eutectoide.

Los aceros de grano fino al manganeso alcanzan tenacidad y resistencia no comunes. Estos aceros generalmente se utilizan para engranes, flechas ranuradas, ejes y cilindros para fusil. Con una moderada cantidad de vanadio agregado, los aceros al manganeso se emplean para grandes forjas que deben enfriarse en aire. Después de la normalización, este acero dará propiedades equivalentes a las que se obtienen en un acero al carbono puro después de una operación de templado y revenido total.

Cuando el contenido de manganeso excede 10%, el acero será austenítico después de un enfriamiento lento. Un acero especial, conocido como acero Hadfield al manganeso, suele contener 12 % de manganeso. Después de un tratamiento térmico adecuadamente controlado, este acero se caracteriza en general, por su alta resistencia, gran ductilidad y excelente resistencia al desgaste. Es un material relevante para resistir condiciones severas de servicio, que combina la abrasión y el desgaste como se encuentra en los depósitos y dientes de excavadoras mecánicas, maquinaria para esmerilar y triturar, y en rieles de ferrocarril. Si esta aleación se enfría lentamente desde 1 750 °F, la estructura constará de grandes carburos frágiles que rodean los granos de austenita. Esta estructura tiene poca resistencia y ductilidad. En esta condición, la resistencia tensil es de unas 70 000 lb/pulg², con los valores de elongación por abajo del 1 %. Si la misma aleación, después de dejar que los carburos se disuelvan, se temple desde 1 850°F, la estructura será completamente austenítica con una resistencia tensil de unas 120000 lb/pulg² elongación de 45% y una BHN (dureza Brinell) de 180. La aleación tiene ahora mucha mayor resistencia y ductilidad al compararse con las de condición en recocido. El acero generalmente se recalienta por abajo de 500°F para reducir las tensiones por templado. En la condición austenítica, después de un rápido enfriamiento, el acero no es muy

º Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New Cork City Community College–City University of New York.

duro; sin embargo, cuando se pone en servicio y se somete a repetido impacto, la dureza aumenta a unos 500 BHN. Este aumento en dureza se debe a la capacidad de los aceros al manganeso para endurecerse con el trabajado rápidamente y a la conversión de alguna Austenita en martensita.

2.3.4.5. Aceros al molibdeno (serie 4xxx)

¶El molibdeno es un elemento de aleación relativamente costoso, tiene una solubilidad limitada en hierros γ y α , y es un fuerte formador de carburo. Además, ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros. Los aceros con molibdeno son menos susceptibles al fragilizado, debido al revenido, que los demás aceros aleados. Este elemento se utiliza más a menudo en combinación con níquel o cromo o en ambos. Para aplicaciones de carburización, mejora la resistencia al desgaste de la superficie endurecida y la tenacidad de la porción interna.

Los aceros ordinarios al molibdeno (series 40xx y 44xx) con bajo contenido de carbono generalmente se carburizan y se emplean para flechas ranuradas, engranes de transmisión y aplicaciones similares en que no son tan severas las condiciones de servicio. Con mayor contenido de carbono, se han utilizado para resortes de suspensión y muelles para automóviles. Los aceros al cromo-molibdeno (serie 41 xx) son relativamente baratos y poseen buenas características de endurecido profundo, de ductilidad y de capacidad para soldarse. Se han empleado ampliamente para recipientes sujetos a presión, partes estructurales de los aviones, ejes de automóviles y para aplicaciones semejantes. Los aceros al níquel-molibdeno (series 46xx y 4Rxx) tienen la ventaja de la alta resistencia y ductilidad del níquel, combinada con templabilidad profunda y la maquinabilidad mejorada, que proporciona el molibdeno. Tienen buena tenacidad, combinada con alta resistencia a la fatiga y resistencia al desgaste. Se utilizan para engranes de transmisión, pernos de las cadenas,

¶ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New York City Community College–City University of New York.

flechas y cojinetes. Los aceros al níquel-cromo-molibdeno triplemente aleados (series 43xx y 4 7xx) tienen las ventajas de los aceros al níquel-cromo, conjuntamente con la alta templabilidad proporcionada por el molibdeno. Se usan mucho en la industria aeronáutica para las partes estructurales del ensamble de las alas, fuselaje y tren de aterrizaje.

2.3.4.6. Aceros al vanadio

¶El vanadio es el más costoso de los elementos comunes de aleación. Es un potente desoxidador y un fuerte formador de carburo, el cual inhibe el crecimiento de grano. Las adiciones de vanadio de 0.05%, producen una pieza de fundición sin defectos, uniforme y de grano fino. Cuando se disuelve, el vanadio tiene un marcado efecto sobre la templabilidad y proporciona altas propiedades mecánicas al enfriamiento con aire. Por tanto, los aceros al carbono-vanadio se utilizan para las grandes forjas de locomotoras y maquinaria, las cuales se normalizan.

Los aceros al cromo-vanadio al bajo carbono (serie 61xx) se utilizan en la condición de endurecimiento superficial en la manufactura de pernos y cigüeñales. Los aceros al cromo-vanadio de medio carbono tienen alta tenacidad y resistencia y se emplean para ejes y resortes. Los grados con alto carbono, gran dureza y resistencia al desgaste se emplean para cojinetes y herramientas.

2.3.4.7. Aceros al silicio (serie 92xx)

¶El silicio, como el manganeso, está presente en todos los aceros como un desoxidador barato. Cuando un acero contiene más del 0.60% de silicio, se clasifica como acero al silicio. Al igual que el níquel, el silicio no es un formador de carburo, sino que se disuelve en ferrita, aumentando la resistencia y la tenacidad. Un acero que contiene 1 a 2% de silicio, conocido como acero naval, se utiliza para aplicaciones estructurales que requieren un alto punto de cedencia. El acero Hadfield al silicio, con menos del 0.01 % de carbono y como

¶ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New York City Community College–City University of New York.

3% de silicio, tiene excelentes propiedades magnéticas para emplearlas en los núcleos y polos de la maquinaria eléctrica.

Una combinación de manganeso y silicio adecuadamente balanceada produce un acero con alta resistencia poco común y con buena ductilidad y tenacidad. Este acero al silicio-manganeso (9260) se emplea mucho en resortes helicoidales y de hoja, así como en punzones y cinces.

2.3.4.8. Aceros inoxidables

¶ Estos aceros tienen aplicaciones resistentes a la corrosión y al calor. Como los aceros inoxidables contienen cantidades relativamente grandes de cromo, las aleaciones hierro-cromo-carbono pertenecen a un sistema ternario. La Fig. 9.6 representan secciones planas a través de tal sistema ternario. Aunque estas figuras planas no son verdaderos diagramas de equilibrio, resultan útiles al estudiar cambios de fase y al interpretar estructuras.

La figura 9.6 muestra un diagrama para aceros con 12% de cromo y carbono variable. En comparación con el diagrama hierro-carburo de hierro, la presencia de esta cantidad de cromo ha aumentado las temperaturas críticas y reducido el área austenítica; sin embargo, con la adecuada cantidad de carbono, estos aceros pueden tratarse térmicamente para obtener una estructura martensítica, como lo fueron los aceros simples al carbono.

¶ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New York City Community College–City University of New York.

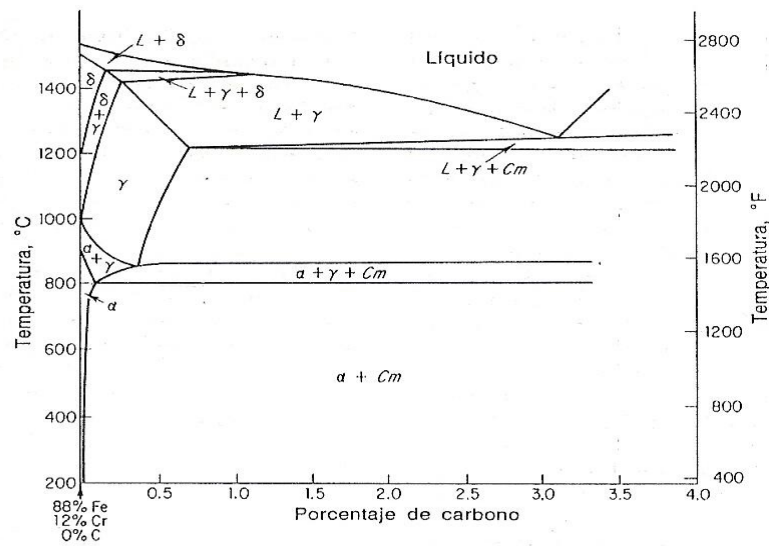


Fig. 9.6 Diagrama de una sección transversal para aceros con 12% de cromo. (Tomada del libro de E. E. Thum, *Book of stainless steels*, 2a. ed., American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1935).

2.4 HIERROS FUNDIDOS

Los hierros fundidos, como los aceros, son básicamente aleaciones de hierro y carbono. En relación con el diagrama hierro-carburo de hierro, los hierros fundidos contienen más cantidad de carbono que la necesaria para saturar austenita a la temperatura eutéctica; por tanto, contienen entre 2 y 6.67% de carbono. Como el alto contenido de carbono tiende a hacer muy frágil al hierro fundido, la mayoría de los tipos manufacturados comercialmente están en el intervalo de 2.5 a 4% de carbono.

La ductilidad del hierro fundido es muy baja y éste no puede laminarse, estirarse trabajarse a temperatura ambiente. La mayoría de los hierros fundidos no son maleables a cualquier temperatura; sin embargo, a veces funden fácilmente o pueden fundirse en formas complicadas que generalmente se maquinan a dimensiones finales. Como la fundición de piezas es el único proceso aplicado a estas aleaciones, se conocen como hierros fundidos

^φ Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New York City Community College—City University of New York.

Aunque los hierros fundidos comunes son frágiles y tienen más bajas propiedades de resistencia que la mayoría de los aceros, son baratos, pueden fundirse más fácilmente que el acero y tienen otras propiedades útiles. Además, mediante una aleación apropiada, buen control de la fundición y un tratamiento térmico adecuado, las propiedades de cualquier tipo de hierro fundido pueden variar ampliamente. Los significativos desarrollos en el control de la fundición han dado lugar a la producción de grandes tonelajes de hierros fundidos. cuyas propiedades suelen ser consistentes.

2.4.1. TIPOS DE HIERRO FUNDIDO.

El mejor método para clasificar el hierro fundido es de acuerdo con su estructura metalográfica. Las variables a considerar que dan lugar a los diferentes tipos de hierro fundido son: el contenido de carbono, el contenido de aleación y de impurezas, la rapidez de enfriamiento durante o después del ^ºcongelamiento, y el tratamiento térmico después de fundirse. Estas variables controlan la condición del carbono y también su forma física. El carbono puede estar combinado en forma de carburo de hierro en la cementita, o existir como carbono sin combinar (o libre) en forma de grafito. La forma y distribución de las partículas carbono sin combinar influirá grandemente en las propiedades físicas del hierro fundido. Los tipos de hierro fundido se pueden clasificar como sigue:

- **Hierros fundidos blancos**, en los cuales todo el carbono está en la forma combinada como cementita.
- **Hierros fundidos maleables**, en los cuales la mayoría o todo el carbono está sin combinar en la forma de partículas redondas irregulares, conocidas como carbono revenido, el cual se obtiene mediante tratamiento térmico del hierro fundido blanco.

^º Por SYDNEY H. AVNER. Prof. New Cork City Community College–City University of New York.

- **Hierros fundidos grises.** en los cuales la mayoría o todo el carbono está sin combinar en la forma de escamas de grafito.
- Hierros fundidos enfriados rápidamente, en los cuales una capa superficial de hierro fundido blanco está combinada con una interior de hierro gris.
- **Hierros fundidos nodulares**, en los cuales, mediante adiciones de alcaciones especiales, el carbono está grandemente sin combinar en la forma de esferoides compactas. Esta estructura difiere del hierro maleable en que se obtiene directamente desde la solidificación y las partículas de carbono redondas son de forma mas regular.
- **Hierros fundidos aleados**, en los cuales las propiedades o la estructura de cualquiera de los tipos mencionados se modifican mediante la adición de elementos de aleación.

2.5. CLASIFICACION DE ACEROS EN LA EMPRESA METALURGICA MEPSA

ACERO AL BAJO CARBONO

°ACERO AL BAJO CARBONO MA-1 / MA-4

Características: La microestructura ferrítico-perlítica nos garantiza una gran maquinabilidad y ductibilidad.

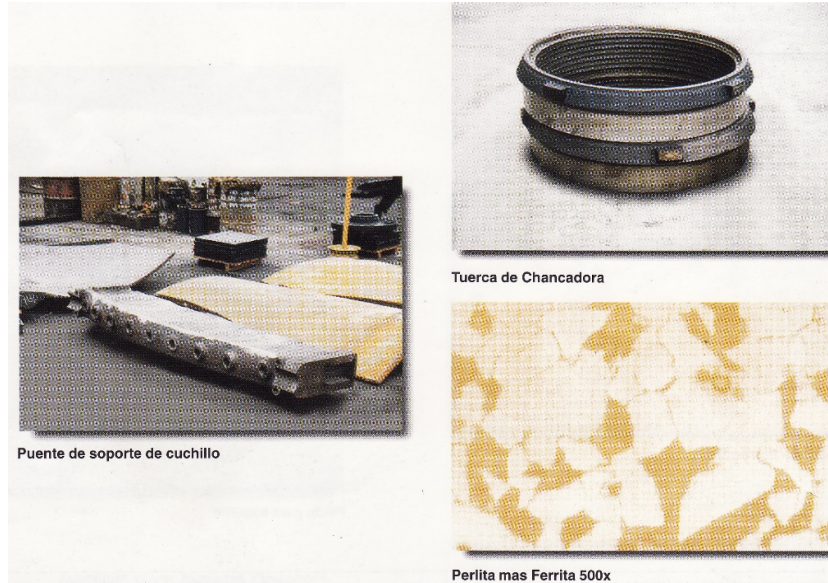
Excelente soldabilidad, enmarcándola dentro de los aceros con propiedades netamente estructurales.

Estado de suministro: Normalizado, revenido y recocido según necesidades con dureza entre 140y 190 BHN.

Campo de aplicación: Piezas de tipo estructural, de buenas propiedades mecánicas. Como bastidores, soportes y brazos de maquinarias, engranajes, muñones de alimentación y descarga, tapas de molino, bridas, soportes de trapiche, etc.

Soldadura: Se recomienda uso de electrodos de bajo hidrogeno.

° <http://www.mepsa.com/mepsa.html>



NOMBRE DEL MATERIAL		COD MEPSA	REFERENCIAS ASTM
ACERO AL BAJO CARBONO		MA- 1	A 27Gr 70-40
		MA- 4	A27CrN-1

PROPIEDADES MECANICAS TIPICAS REQUERIDAS											
Resist. Tracción Min.			Punto Fluencia Min.			% Mínimo		Doblado	Dureza		Izod
Lb/Pulg ²	MPa	Lb/mm ²	Lb/pulg ²	MPa	Lb/mm ²	Elong	A. Red.	Min.	BHN	Rc.	Ft/Lb
70,000	482	49.2	47,000	324	34.2	22	40	100	137 190		20
60,000	413	42.2	30,000	207	21.9	22	40	100	140 170		20

° ACERO AL BAJO CARBONO MA-3

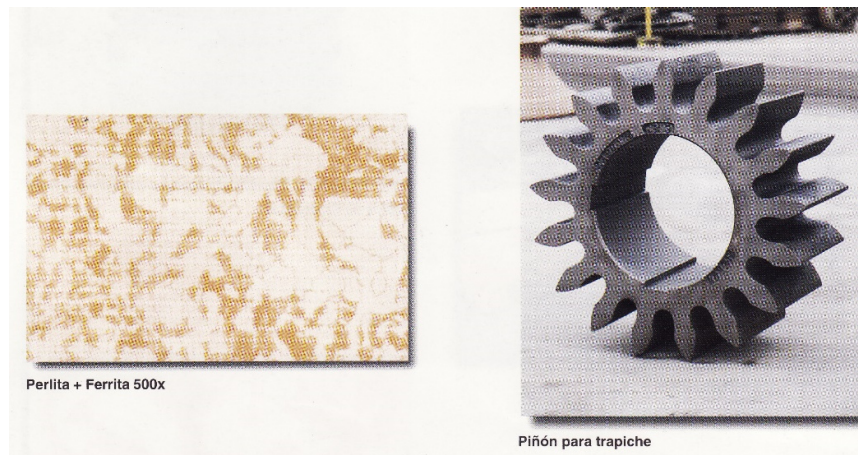
Características: Con excelentes propiedades estructurales de tracción, compresión, torsión y flexión. Con buenas características de soldabilidad y mecanizado, derivado de su contenido de manganeso. Medianamente resistente a los choques térmicos.

° <http://www.mepsa.com/mepsa.html>

Estado de suministro: Bonificado, normalizado y revenido, recocido con niveles de dureza comprendidos entre 150 y 220 BHN. Al estado templado y revenido, los niveles de dureza están comprendidos entre 280 y 350 BHN.

°Campo de aplicación: Moldes de acero para trabajos en temperatura, elementos de maquinarias, piñones, pistas y engranajes para molinos, rastras, brazos soporte para trapiche, cuchillas, bielas de chancadoras (Pitman), tapas de molino, montantes de prensa, matrices, poleas, etc.

Soldadura: Se recomienda electrodos de bajo hidrogeno con las precauciones de PRE y postcalentamiento.



NOMBRE DEL MATERIAL	COD MEPSA	REFERENCIAS ASTM	PROPIEDADES MECANICAS TIPICAS REQUERIDAS											
			Resist. Tracción Min.			Punto Fluencia Min.			% Mínimo		Doblando	Dureza	Izod	
			Lb/Pulg ²	MPa	Kg/mm ²	Lb/pulg ²	MPa	Kg/mm ²	Elong	A. Red.	Min.	BHN	Rc.	Fu/Lb
ACERO AL BAJO CARBONO	MA-3	A 148 Gr. 80-50 A352LCC-1	80,000	550	56.2	53,000	366	38.6	15	35	90	160 200		20

Notas: Aceros de templabilidad controlada, pueden incluir microaleación con Boro, Vanadio, etc. - Valores de resistencia a la tracción y dureza pueden incrementarse en un 60% por medio de tratamiento térmico adecuado de temple y revenido, si lo solicita el cliente. - Pueden suministrarse recocido blando para maquinado.

° <http://www.mepsa.com/mepsa.html>

°ACERO AL MANGANESO AUSTENITICO MB-1 / 2 / 4 / 5

Características: Estos aceros también conocidos como aleaciones tipo Handfield en honor a su inventor. Desde inicios de siglo hasta la fecha se continúa utilizando en un amplio campo de aplicaciones tales como chancado, trituración, impacto y molienda gruesa. Se caracterizan fundamentalmente por su alta resistencia al impacto, consiguiéndose paralelamente durante su uso, un efecto secuencial indispensable de autoendurecimiento en la zona de trabajo.

Características que mejoran ampliamente sus propiedades de resistencia al desgaste altamente erosivo. Dependiendo del uso al que se encuentren sometidos, los contenidos de carbón pueden oscilar entre 1.0% y 1.3%. y los contenidos de manganeso entre 11% a 14%, los contenidos de cromo-molibdeno fluctuaran también convenientemente.

Bajo condiciones de severo impacto, durante las operaciones se llega a obtener niveles de dureza entre 400-600 BHN. Mientras estas no sean condiciones de trabajo los resultados obtenidos serán de bajo rendimiento, por lo que es necesario un impacto sustancial para endurecer las superficies expuestas a partículas erosivas.

Estado de suministro: Para suministros estándares contamos con nuestras aleaciones del tipo MB-1, MB -5 y MB -7, las cuales cubren gran gama de exigencias en trabajos de gran impacto e impacto moderado. Adicionalmente según solicitud específica contamos con aleaciones como el MB-3 y MB-4, cuya producción esta supeditada a la producción e lotes mínimos de acuerdo con el cliente.

° <http://www.mepsa.com/mepsa.html>

°Campo de aplicación: Bowl, Mantle, quijadas de chancadoras, martillos, parrillas, ruedas dentadas, zapatas de oruga, ruedas tensoras, rodillos trituradores, placas, yunques, dientes de pala, sapos o desvíos de rieles, forros para molinos primarios, etc.

Soldadura: Sus propiedades físicas disminuyen cuando sufren calentamientos entre 200 °C - 600 °C, por lo que se recomienda no efectuar calentamientos durante procesos de soldadura.

Utilizar electrodos de alta ductibilidad y con propiedad de autoendurecimiento.

NOMBRE DEL MATERIAL	COD MEPSA	REFERENCIAS ASTM
ALEACION AUSTENITICA HADFIELD	MB-3	A 128C
	MB-4	A 128D

PROPIEDADES MECANICAS TIPICAS REQUERIDAS										
Resist. Tracción Min.			Punto Fluencia Min.			% Minimo		Doblado	Dureza	
Lb/Pulg ²	MPa	Kg/mm ²	Lb/Pulg ²	MPa	Kg/mm ²	Elong	A.Red.	Min.	BHN	Rc
120.000	825	84.4				30	25	90	200 240	23
100.000	608	70				30	25			

Maquinabilidad: Dada su propiedad de autoendurecimiento durante operaciones de maquinado es recomendable una velocidad de corte baja entre 10 – 12 mts/min. (Dependiendo de la pieza) el ángulo debe ser inclinado y negativo.

Estado de suministro: Se suministra en estado de apagado con durezas clásicas comprendidas entre 180y 240 BHN.



NOMBRE DEL MATERIAL	COD MEPSA	REFERENCIAS ASTM	PROPIEDADES MECANICAS TIPICAS REQUERIDAS												
			Resist. Tracción Min.			Punto Fluencia Min.			% Mínimo		Doblado	Dureza		Izod	
			Lb/Pulg ²	MPa	Kg/mm ²	Lb/Pulg ²	MPa	Kg/mm ²	Elong	A.Red.		Min.	BHN		Rc.
ALEACION AUSTENITICA HADFIELD	MB-1	A -128A	120,000	84.4					30	25			190 230	21	
	MB-5	A-128E 1	120,000	84.4					30	25			190 230	21	

°ACERO DE ALTO CARBONO AL CROMO-MOLIBDENO

ACERO DE ALTO CARBONO AL CROMO-MOLIBDENO MC-2

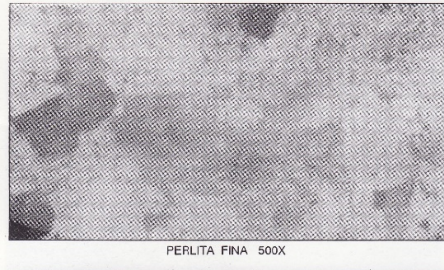
Características: También conocidos como aceros perlíticos, dada su microestructura. Ofrecen buenas propiedades de resistencia a la abrasión a un moderado impacto. De gran dificultad en el mecanizado.

Estado de suministro: Normalizado y revenido con durezas comprendidas entre 320 y 390 BHN.

Campo de aplicación: Forros para molinos de barras, molienda y remolienda, parrillas de descarga, zapatas para clasificador, rastras. Barras para sintetizador, ruedas, placas de desgaste, etc.

Soldadura: No recomendable.

° <http://www.mepssa.com/mepssa.html>



°ACERO DE ALTO CARBONO AL CROMO-MOLIBDENO MC-4

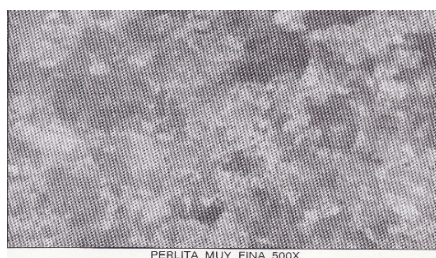
Características: Su microestructura de perlita muy fina le brinda elevadas propiedades de resistencia a la abrasión conjuntamente con una elevada resistencia al impacto.

Estado de suministro: Bonificado con niveles de dureza entre 390 y 477 BHN. Su rectificado se efectúa con esmeril.

Campo de aplicación: Forros para molinos de gran diámetro, molienda y remolienda, parrillas de descarga y clasificadoras, etc.

Soldadura: No recomendable.

° <http://www.mepsa.com/mepsa.html>



NOMBRE DEL MATERIAL	COD. MEPSA	REFERENCIAS ASTM	PROPIEDADES MECANICAS TÍPICAS REQUERIDAS												
			Resist. Tracción Min.			Punto Fluencia Min.			% Mínimo		Doblado	Dureza		Izod	
			Lb/Pulg ²	MPa	Kg/mm ²	Lb/Pulg ²	MPa	Kg/mm ²	Elong	A. Red.	Min.	BHN	Rc		Ft/Lb
ACERO AL ALTO CARBONO	MC-2	A 148 GR 140-120	140 000	960	98								320 390	34 41	
	MC-4	A 148 GR 180-160	180 000	1235	126								390 477	41 48	

°ACEROS FERRITICOS PARA ALTA TEMPERATURA Y MEDIANA

CORROSION ME-1

Características: Estos aceros opcionales, con alto contenido de cromo cuentan con una microestructura ferrítica y carburos altamente refractarios, resistentes a la abrasión. Bajo temperatura hasta 2000 °F (1100 °C).

°Especialmente en ambiente sulfurosos y reductores utilizables, también en atmósferas oxidantes, con bajas propiedades de ductibilidad y resistencia al impacto a temperatura ambiente.

Estado de suministro: Normalizado y bruto de colada, para condiciones ambientales y abrasivas ME-1 con dureza de 311 – 363 BHN.

° <http://www.mepesa.com/mepesa.html>

Campo de aplicación: Rastrillos, placas, tuyeres, recipientes para sales, recuperadores, tubos sopladores, parrillas, forros para boca de convertidores, partes de horno, brazos de tostadores, etc.

Soldadura: Con precauciones, soldadura en frío CA-CC.



NOMBRE DEL MATERIAL	COD MEPSA	REFERENCIAS ASTM	PROPIEDADES MECANICAS TÍPICAS REQUERIDAS												
			Resist. Tracción Min.			Punto Fluencia Min.			% Mínimo		Doblado		Dureza		Izod
			Lb/Pulg²	MPa	Kg/mm²	Lb/Pulg²	MPa	Kg/mm²	Elong	A.Red.	Min.	BHN	Rc.	Ft/Lb	
ACEROS FERRÍTICO PARA ALTA TEMPERATURA Y MEDIANA CORROSION	ME-1											311 363	33 38		
	ME-2	A 296-CC50 A 297-HC	55,000	379	38.7							192 235	22		

Notas: Puede suministrarse recocido blando para maquinado .- la dureza se incrementa con microaleantes a solicitud del cliente.

°ACEROS DE ALTO CARBONO AL CROMO-MOLIBDENO MC-B

Características: Son aceros de alto carbono con una excelente resistencia al impacto y a la abrasión con muy buenas características de comportamiento estructural como son la compresión y tracción.

Estado de suministro: Normalizado y revenido para condiciones de trabajo estructurales con niveles de dureza entre 215 y 255 BHN de fácil maquinabilidad. Bonificado para solicitud de altos esfuerzos en el campo de la molienda con durezas de 550 –700 BHN.

Soldadura: Tomando precauciones y con soldadura eléctrica, utilizar electrodos de bajo hidrogeno.

Campo de aplicacion: Ruedas para carros mineros, soportes, parrillas, grampas, placas de desgaste, rodillos, etc.



NOMBRE DEL MATERIAL	COD MEPSA	REFERENCIAS ASTM	PROPIEDADES MECANICAS TÍPICAS REQUERIDAS											
			Resist. Tracción Min.			Punto Fluencia Min.			% Mínimo		Doblado	Dureza		Izod
			Lb/Pulg ²	MPa	Kg/mm ²	Lb/Pulg ²	MPa	Kg/mm ²	Elong	A.Red.	Min.	BHN	Rc.	Ft/Lb
ACERO DE ALTO CARBONO AL CROMO - MOLIBDENO	MC-B	A 148 GR 105 - 85	115,000	791	80.8	80,000	552	58				255 477	25 48	

Notas: Aceros de templabilidad controlada, pueden incluir microaleación con Boro, Vanadio, etc. Valores de resistencia a la tracción y dureza pueden incrementarse en un 60% por medio de tratamiento térmico de temple y revenido, si lo solicita el cliente.- Puede suministrarse recocido blanco para maquinado.- Propiedades son aplicadas a piezas, no a requisitos en Bolas.

° FIERROS FUNDIDOS GRISES

FIERROS FUNDIDOS GRISES MH-1

Características: Metal tradicionalmente utilizado para cubrir requerimientos comunes en piezas sometidas a esfuerzos de compresión con bajo modulo de elasticidad. De buena maquinabilidad.

El espesor de la pieza determinara el contenido de carbono más conveniente.

Estado de suministro: Bruto de colada o con envejecimiento estructural con durezas de 150 a 300 BHN.

Campo de aplicación: Maza para trapiche, piezas estructurales de gran rigidez, para trabajos a compresión, forros de carga y descarga para molinos de

° <http://www.mepesa.com/mepesa.html>

minerales (trunions liners). Engranajes y piñones, chumaceras, partes de maquinas herramientas, tapas de molino, etc.

Soldadura: Con electrodos de alta ductibilidad y baja temperatura.



NOMBRE DEL MATERIAL	COD MEPSA	REFERENCIAS ASTM	PROPIEDADES MECANICAS TÍPICAS REQUERIDAS											
			Resist. Tracción Min.			Punto Fluencia Min.			% Mínimo		Doblado	Dureza		Izod
			Lb/Pulg²	MPa	Kg/mm²	Lb/Pulg²	MPa	Kg/mm²	Elong	A.Red.	Min.	BHN	Rc.	Ft/Lb
FIERROS FUNDIDOS GRISES	MH-1	A 48- 40 S.A.	40,000	275	28.1							207 285	30	

Notas: % Si. incluye la adición de inoculante - Suministrado normalmente Bruto de Colada.- Valores de resistencia a la tracción y dureza pueden incrementarse en un 60% por medio de tratamiento térmico adecuado de temple y revenido, si lo solicita el cliente.- Puede suministrarse recocido blando para maquinado.

° FIERROS FUNDIDOS GRISES MH-3 / 4

Características: Aplicado al campo donde las condicione de trabajo son de mayores resistencias a la compresión y temperatura de muy buena maquinabilidad.

El espesor de la pieza determinara en contenido de carbono equivalente mas conveniente.

El metal MH-4 siendo opcional, se suministra con tenores residuales controlados de Cu y Ni para aplicaciones especificas.

Estado de suministro: Bruto de colada o con alivio estructural, durezas de 90 – 180 BHN.

° ° <http://www.mepsa.com/mepsa.html>

Campo de aplicación: Lingoteras, tazas para escoria, engranajes, ollas para refinar metales, moldes para metales no ferrosos, etc.

Soldadura: Con electrodos de alta ductibilidad y baja temperatura.



NOMBRE DEL MATERIAL	COD MEPSA	REFERENCIAS ASTM	PROPIEDADES MECANICAS TIPICAS REQUERIDAS												
			Resist. Tracción Min.			Punto Fluencia Min.			% Mínimo		Doblado		Dureza		Izod
			Lb/Pulg²	MPa	Kg/mm²	Lb/Pulg²	MPa	Kg/mm²	Elong	A.Red.	Min.	BHN	Rc.	Ft/Lb	
FIERROS FUNDIDOS GRISES	MH-3	A 48- 20 S	20,000	138	14.0								100 172		
	MH-4	A 48- 20 S	20,000	138	14.0								96 172		

FIERROS FUNDIDOS BLANCOS MARTENSITICOS AL ALTO CROMO MOLIBDENO MM-2

Características: los elevados contenidos de carbono cromo y molibdeno crean una microestructura conformada por martensita blanca con fase soporte de carburos ledeburíticos. Es un material con excepcionales características de resistencia al desgaste abrasivo, tanto en seco como en húmedo con baja resistencia al impacto.

Estado de suministro: Tratado temidamente con niveles de dureza de 600-700 BHN.

° <http://www.mepssa.com/mepssa.html>

Campo de aplicación: Placas de desgaste, cajas de bomba, impulsores, tubo alimentador de molinos, forros para ciclones, zapatas de clasificador, placas de tolvas, forros para molinos de barras en molienda, remolienda, etc.

Soldadura: No recomendable



NOMBRE DEL MATERIAL	COD. MEPSA	REFERENCIAS ASTM
FIERROS FUNDIDOS BLANCOS MARTENSITICOS AL ALTO CROMO-MOLIBDENO	MM-2	A-532-2B

PROPIEDADES MECANICAS TIPICAS REQUERIDAS											
Resist. Tracción Min.			Punto Fluencia Min.			% Mínimo		Doblado	Dureza	Izod	
Lb/Pulg ²	MPa	Kg/mm ²	Lb/Pulg ²	MPa	Kg/mm ²	Elong	A. Red.	Min.	BHN	Rc.	ft/Lb
									600 700	58 66	

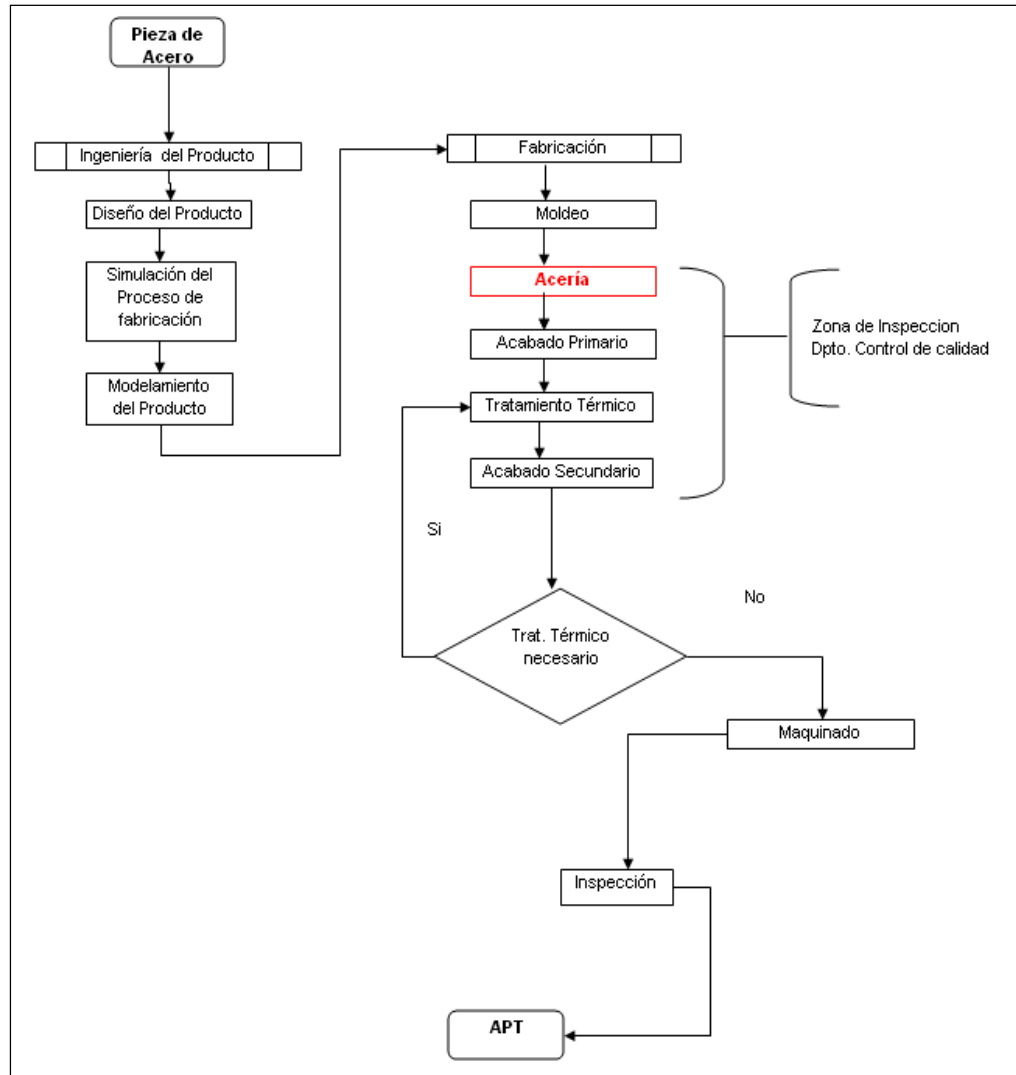
CAPITULO III.-

ANALISIS DEL SISTEMA BALANSOFT

3.1.-PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA PIEZA DE ACERO

El siguiente diagrama muestra las etapas de producción para una pieza de Acero o una pieza de Fierro fundido. La diferencia entre una y otra, es que algunas piezas de fierro no llevan tratamiento térmico y tampoco pasan por el área de maquinado.

Se ha hecho énfasis en el proceso de aceria por ser aquella área en la que se centra nuestro estudio.



Fuente: Diseño Propio

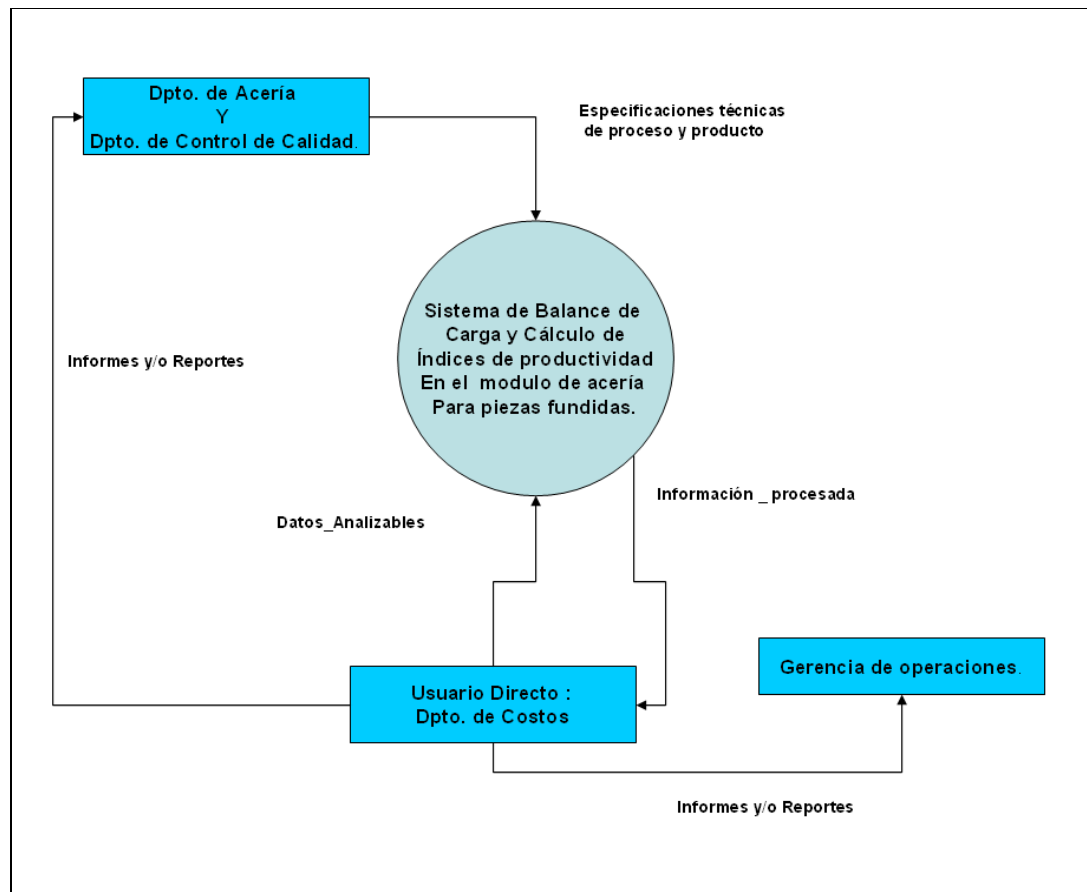
3.2.-ANALISIS DE ENTORNO

3.2.1. NIVEL 0: DIAGRAMA DE CONTEXTO

El entorno bajo el cual se mueve el programa es el siguiente (**Ver Grafico**). Se tomó mucho en cuenta la validación de la data; es por ello, que no es el sistema

quién proporciona directamente la información al Dpto. de acería y Gerencia de Operaciones.

La principal limitación del sistema es su nivel monousuario, debido a que no pertenecemos al área de sistemas. Pero se espera que en un futuro nuestro análisis lógico sirva como base para crear un sistema integrado que maneje un módulo de acería (módulo y sistema integrado que aún no existe).



Fuente: Diseño Propio

NOTA: Es importante establecer el contexto de nuestro sistema, para determinar quiénes son los usuarios directos e indirectos, así como también cómo se interrelaciona el sistema con ellos.

3.2.2. DIAGRAMA LOGICO- FUNCIONAL DE BALANSOFT

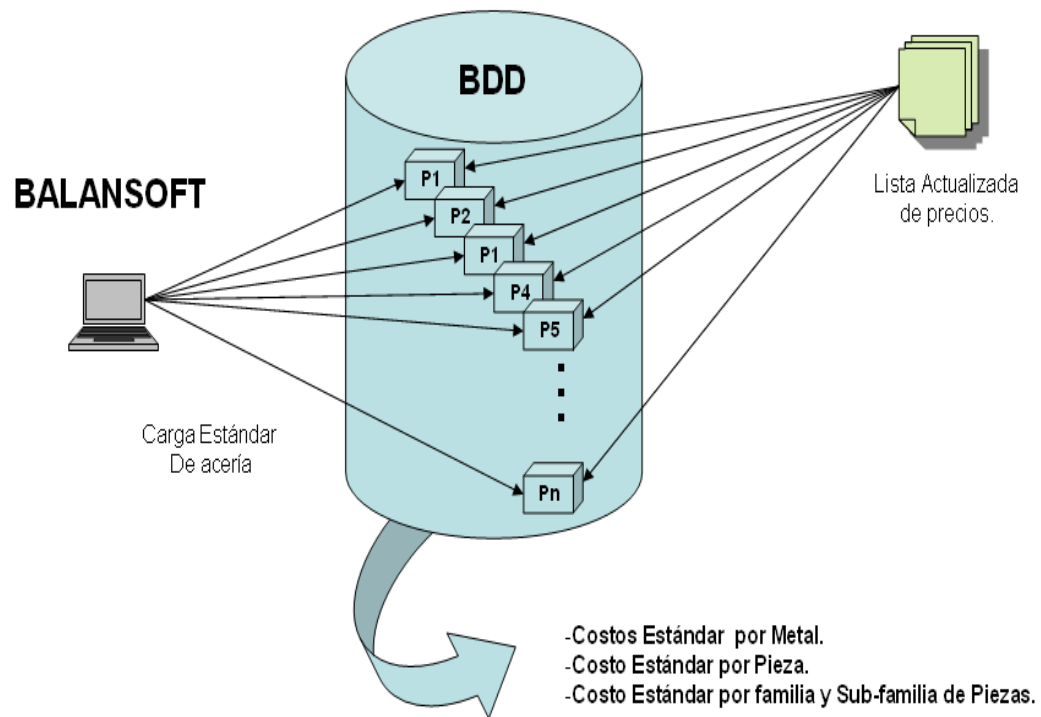
Balansoft funciona en la actualidad como motor en el cálculo de consumos estándar en el área de acería, para cada pieza (P1, P2, P3... P n).

De esta manera obtenemos un consumo estándar por cada pieza, alimentamos nuestra base de datos y mediante la interacción con el archivo de precios actualizados, obtenemos el valor estándar en el mercado para cada pieza.

Ahora que tenemos un consumo estándar, podemos manejar la variabilidad de los componentes (Insumos) de la colada. Estableciendo nuevos escenarios y analizando las posibles tendencias.

Manejar la variabilidad de los costos a este nivel es muy acertado debido a que el costo en el área de acería abarca casi el 60% del costo variable total de la pieza.

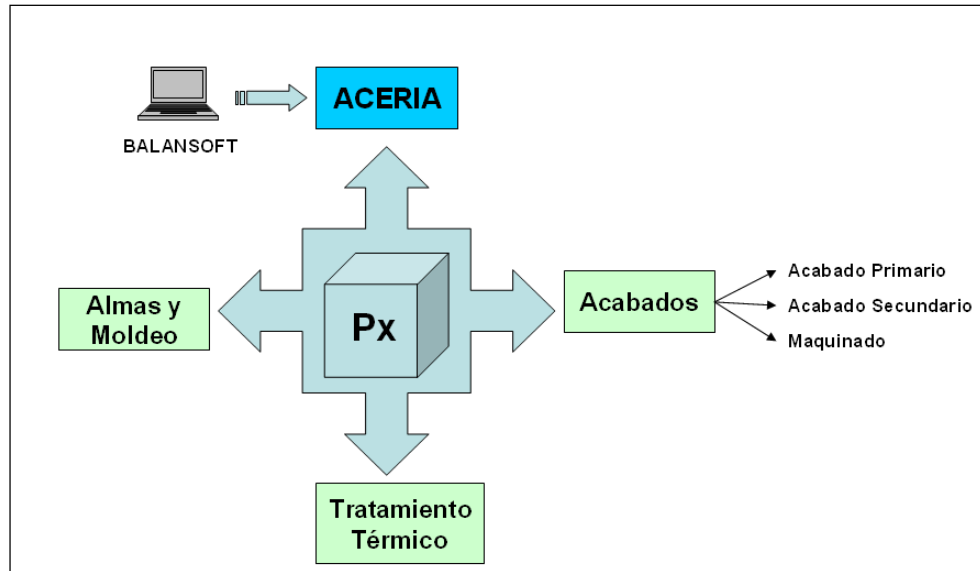
DIAGRAMA LOGICO FUNCIONAL DE BALANSOFT



Fuente: Diseño Propio

NOTA: Balansoft es la herramienta básica para determinar el consumo estándar en acería por cada pieza Pn.

Cada pieza mantiene el siguiente esquema en el cálculo de su consumo estándar.



Fuente: Diseño Propio

La pieza Px contiene los siguientes módulos de consumo:

1. Módulo de acería.
Consumo de Chatarra, ferroaleaciones, materiales refractarios, materiales auxiliares, etc.
2. Módulo de almas y moldeo.
Consumo de arenas, resinas, catalizadores, pinturas, canales cerámicos, manguitos exotérmicos, etc.
3. Módulo de tratamiento térmico.
Consumo de gas natural.
4. Módulo de Acabados.
 - a. Acabado Primario
 - i. Consumo de abrasivos.
 - b. Acabado Secundario.
 - i. Consumo de soldaduras y electrodos.

- c. Maquinado.
 - i. Consumo de placas y energía eléctrica.

3.3.-ANALISIS DE PROCESOS

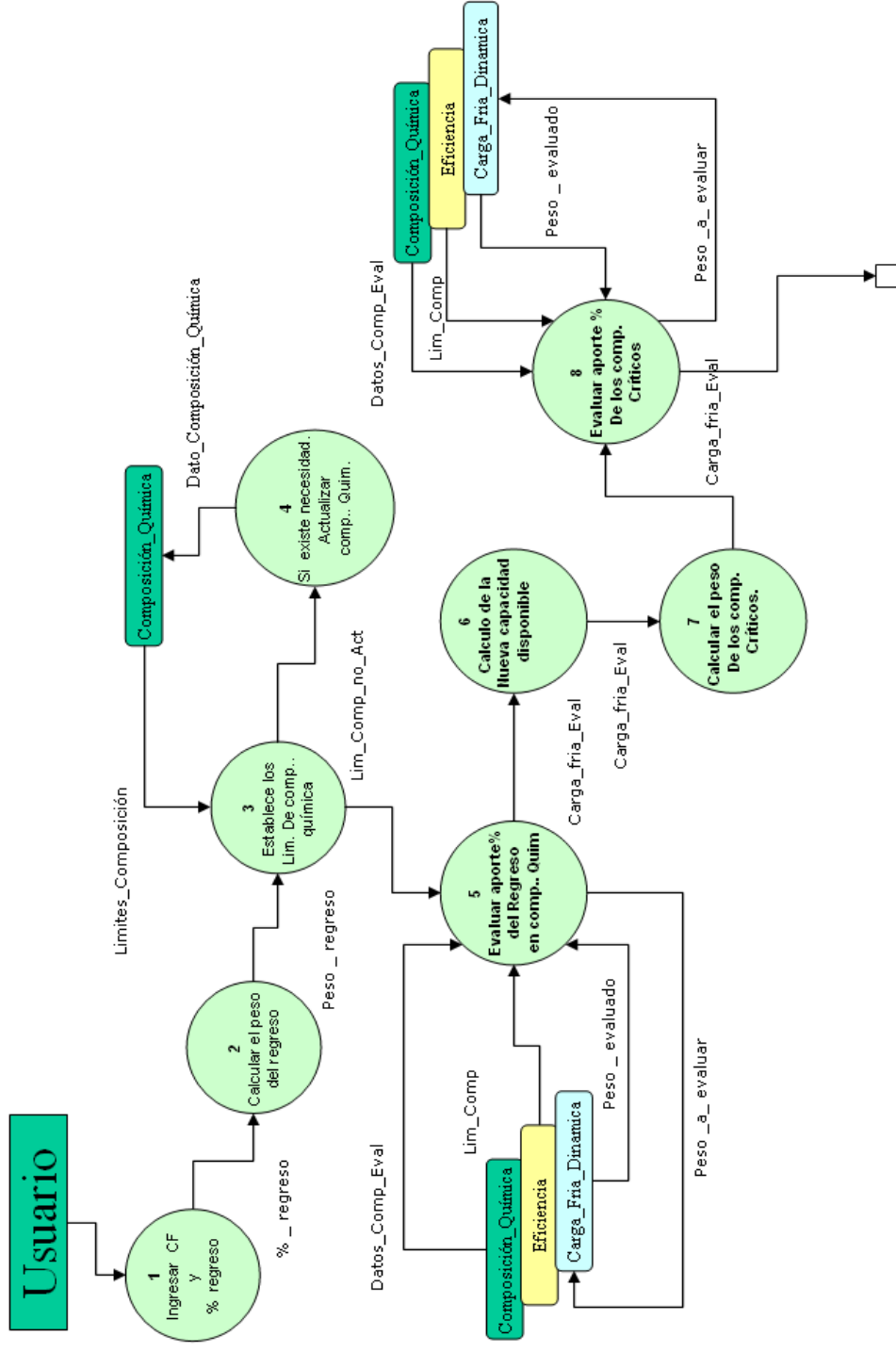
3.3.1. DESCRIPCION DEL BALANCE DE CARGA EN ACERIA.

- 1.- Ingresar el valor en peso de la carga fría. (Valores en el intervalo de 5.0 y 6.5 TM, intervalo asignado de acuerdo a la capacidad máxima del horno en Acería).
- 2.- Ingresar el porcentaje de regreso y luego calcular su peso con respecto al peso total de la carga fría, ya ingresado.
- 3.- Calcular el aporte porcentual de carbono en la composición química con respecto al peso del Regreso ingresado. (Se hará lo mismo para cada componente crítico).
- 4.- Establecer los nuevos límites en la composición química a los cuales se debe llegar y la capacidad disponible porcentual de cada elemento critico.
- 5.- Calcular el peso necesario de los componentes críticos en la colada y evaluar su aporte porcentual con respecto a los límites porcentuales en la composición química de los metales.
- 6.- Existen otros componentes que encontraremos como parte de la mezcla en la colada pero estos componentes, normalmente antioxidantes, tienen una cantidad Std. Ya establecida (Es un valor constante para un rango entre 5.0 y 6.5 TM de metal fundido).

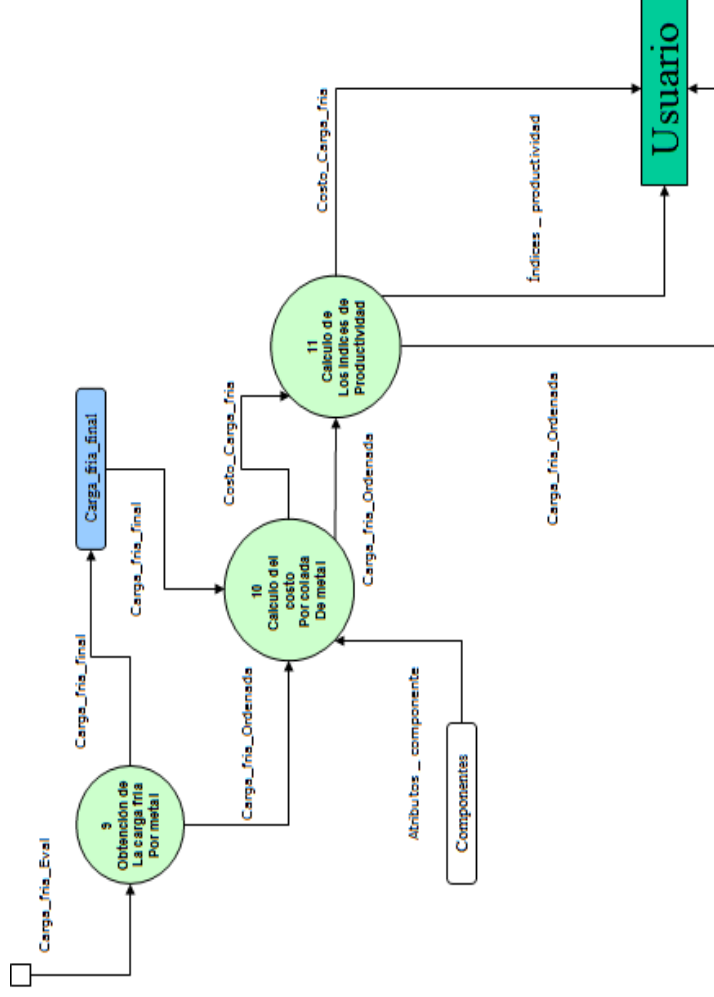
7. Una vez que tenemos la composición de elementos básicos entre los límites químicos estándares, pasamos a analizar la composición en peso de cada Metal con respecto a sus respectivos componentes críticos.
- 8.- Evaluaremos luego el costo de cada metal y hallaremos los índices de productividad respectivos y los compararemos con los índices de productividad estándar.

3.3.2. DIAGRAMA DE FLUJO DE DATOS

NIVEL 1.



**DIAGRAMA DE FLUJO DE DATOS
NIVEL 1.**



Fuente: Diseño Propio

Un DFD entero puede verse como un proceso de más alto nivel. Es entonces que el Sistema puede verse como un proceso que se va descomponiendo por niveles.

3.3.3. DESCRIPCIÓN DE LA DINÁMICA EN EL USO DE LAS TABLAS DE ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE DATOS.

3.3.3.1. TABLAS BÁSICAS

Este grupo de tablas esta compuesto por las tablas de almacenamiento básico y referencial. En este grupo encontramos las siguientes tablas:

- a) Tabla Tipos de metal y sus respectivos atributos.
- b) Tabla de componentes y se respectivos atributos, entre los cuales encontraremos el costo de cada uno, información que nos servirá para hallar el costo de una colada de metal.

3.3.3.2. TABLAS DINÁMICAS Y/O DE DOBLE ENTRADA.

Hablando en términos genéricos, las tablas dinámicas vienen a ser las tablas temporales que normalmente creamos en una base de datos cualquiera (Access, SQL Server, FoxPro, Oracle, etc.) Con el objetivo de permitir un fácil manejo y cálculo con los registros que van a ser almacenados temporalmente.

Para nuestro caso en particular nuestra tabla dinámica almacena valores temporales que irán siendo evaluados uno a uno, todos estos moviéndose dinámicamente en una misma hoja de Excel.

Siguiendo estos criterios, las tablas de doble entrada, no son más que la combinación y vínculo entre los datos de dos tablas fundamentales (Relación que normalmente es obtenida mediante un Query). Pero, para

nuestra comodidad en el cálculo de Microsoft Excel, las convertimos en una sola.

Las tablas de doble entrada nos van a permitir un fácil acceso a los datos interrelacionados. Esta forma de ordenamiento nos permitirá manejar las variables de cálculo de una manera más dinámica y de fácil análisis.

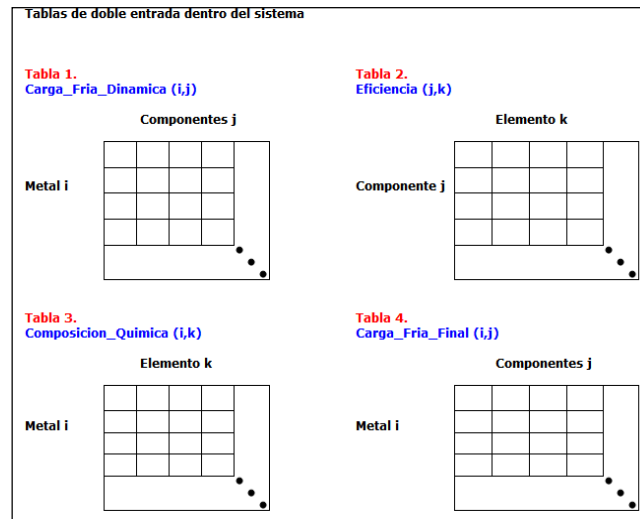
3.3.3.3. DINÁMICA Y FUNCIONAMIENTO DE LAS TABLAS.

La tabla 1: **Carga_Fria_Dinamica**, es aquella que contiene los datos de la carga fría en kilogramos de metal de cada componente i con respecto a un metal determinado j .

Esta tabla dentro del proceso de cálculo es una tabla dinámica, porque su comportamiento es el siguiente:

- ✓ Almacenará uno a uno la carga en kilogramos de los componentes críticos, mientras estos están siendo calculados y evaluados con respecto a su aporte en la composición química. La evaluación de este aporte en porcentaje químico del componente j con respecto a un elemento crítico k debe estar dentro de los límites de composición química (para cada metal i y elemento crítico j – Ver tabla 3).
- ✓ Mientras el bucle que evalúa el aporte de cada componente j para cada metal i , se ejecuta la tabla ira borrando los datos que están en ella, porque estos datos servirán para evaluar la capacidad disponible de cada elemento crítico i con respecto a cada componente j .

- ✓ Por ultimo, está tabla también contiene la carga en kilogramos de los elementos estándares de carga fría los mismos que no serán evaluados dinámicamente. Pero el aporte en la composición química de estos, ya ha sido evaluado desde un principio, ya que estos valores son constantes y no han sido calculados como los anteriores. Es por eso que la carga fría en la colada solo varía con respecto al peso de los componentes críticos.



Fuente: Diseño Propio

La siguiente figura muestra la forma en la que interactúan las tablas de doble entrada. El detalle de esta interacción es el siguiente:

- ❖ “Para cada **elemento k** que tiene un límite estándar de composición química con respecto a cada **metal i**, se irá evaluando el aporte porcentual del peso calculado para cada **componente j**”.

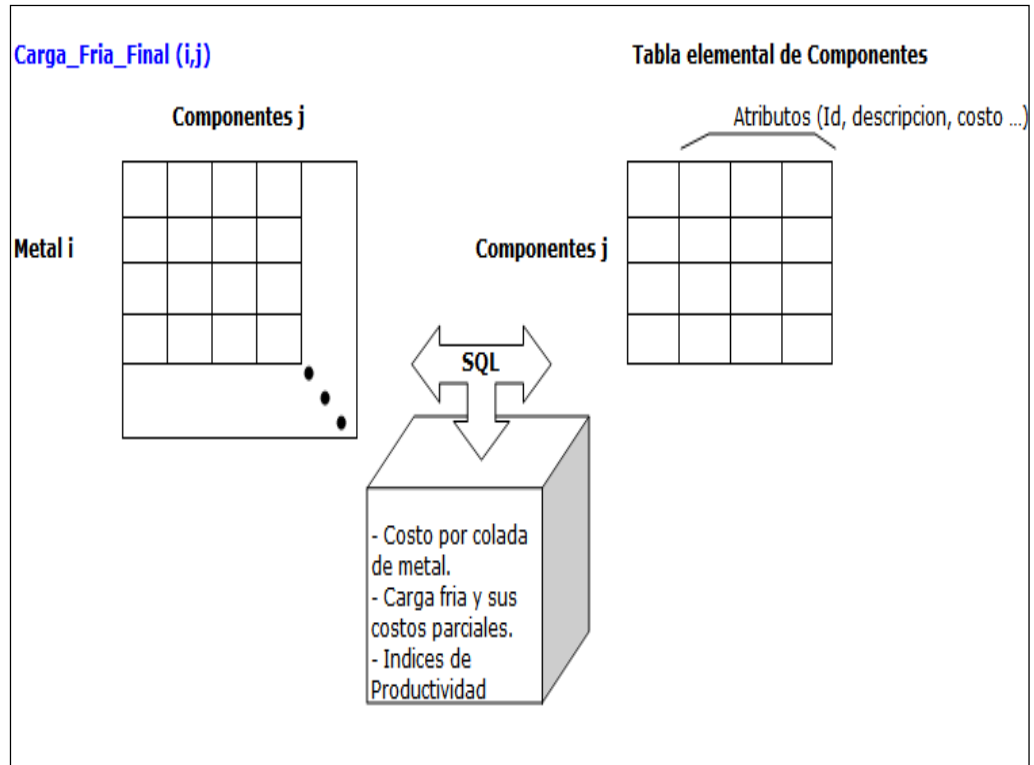
	
⋮	Componente j					
⋮	Elemento k					
⋮	Metal i					

Fuente: Diseño Propio

La figura muestra la manera en la que se ha distribuido la tabla en la cual se va evaluando la composición química de cada metal. La estructura de esta tabla forma parte del código en el cálculo del balance de carga. Su ubicación está dentro del archivo ejecutable y ubicada en la hoja “Composición _ química” del mismo.

Por ultimo la tabla de doble entrada **carga_fría_final**: va acumulando todos los resultados en kilogramos de carga fría para cada componente j con respecto a cada metal i.

Una vez teniendo todos los resultados dentro de esta tabla mediante una consulta a la tabla componentes obtenemos el costo de cada uno. Y de esta manera hallas el costo por colada, los costos parciales por carga fría de metal y los índices de productividad totales con respecto al precio y carga fría.



Fuente: Diseño Propio

3.3.4. ESPECIFICACIONES DE PROCESOS

Un proceso es una transformación de datos. Los procesos de más bajo nivel son funciones puras sin efectos laterales.

Las especificaciones de procesos van a definir patrones de entradas y salidas, Pueden especificarse matemáticamente o en lenguaje natural. En nuestro caso están siendo expresadas en lenguaje matemático con uso de terminología de codificación.

3.3.4.1. DEFINICION DE VARIABLES:

La definición de variables a este nivel es de suma importancia, debido al lenguaje matemático empleado en la especificación de cada proceso; ésta definición nos permitirá comprender mejor la forma en la que interactúan las variables de cálculo: metal i , componente j y elemento k .

- a) **Metal (i)** donde $i = \{ 1,2,3,...m \}$, m = número total de metales.
- b) **Componente (j)** donde $j = \{ 1,2,3,...c \}$, c = número total de componentes.
- c) **Elemento (k)** donde $k = \{ 1,2,3,...e \}$, e = número total de elementos críticos.
- d) **$Cfd(i, j)$** = *Carga_Fría_Dinamica* (i, j) , Variable perteneciente a la tabla de dinámica de doble entrada *Carga_Fria_Dinamica*, esta variable ira almacenando el peso de cada componente j con respecto a cada metal i .
- e) **$Cff(i, j)$** = *Carga_Fría_Final* (i, j) , Variable perteneciente a la tabla de doble entrada *Carga_Fria_Final*, esta variable ira almacenando el peso final (resultado del proceso) de cada componente j con respecto a cada metal i .
- f) **$Efi(j, k)$** = *Eficiencia* (j, k) , Variable perteneciente a la tabla de doble entrada *Eficiencia*, esta variable almacena la eficiencia de cada componente j con respecto a cada elemento critico k .

- g) $Cq(i, k)$ = *Composición _ química* (j, k) , Variable perteneciente a la tabla de Composición _ química, esta variable almacena el limite porcentual de cada elemento critico k con respecto a cada metal i.
- h) $Eval(i, k, j)$ = *Evaluación* (i, j, k) Esta variable sirve para evaluar el aporte porcentual químico de cada componente j con respecto a cada elemento critico k para cada metal i .
- i) $Edición_Cq(i, k)$ = Ésta variable edita el limite porcentual de cada elemento critico k con respecto a cada metal i.
- j) $CapU(i, k)$ = Ésta variable sirve para calcular la capacidad utilizada de cada elemento critico k con respecto a cada metal i.
- k) $Lim(i, k)$ = Ésta variable sirve para determinar el limite porcentual de cada elemento k con respecto a cada metal i.
- l) $Capdisp(i, k)$ = Ésta variable sirve para calcular la capacidad disponible de cada elemento critico k con respecto a cada metal i.
- m) La función **FeMnStd** (j, k) establecida en la codificación de nuestro programa en VB para Excel es equivalente **Cfd** (i, j)

3.3.4.2. CONDICIONES PARA EL CÁLCULO:

Las condiciones para el cálculo nos permitirán establecer los patrones mediante los cuales iremos seleccionando las variables adecuadas.

CONDICION 1:

Componentes Críticos por Metal

Durante el proceso de balance de carga iremos evaluando sólo el comportamiento del regreso y de algunos componentes críticos de acuerdo a cada metal.

Cada metal tiene en su composición un tipo de componente predeterminado (componente Crítico), el mismo que aporta un porcentaje adecuado en la composición química de cada metal con respecto a cada elemento critico de evaluación.

Por ejemplo "**Crit. (MA-1) = FeMnA/C**", significa que evaluaremos para el metal MA-1 (además del aporte porcentual del carbono que nos ha brindado el regreso) el aporte porcentual de C y de Mn en la composición química que nos proporciona un determinado peso del FeMnA/C. Esto debido a que la eficiencia del FeMnA/C es medida con respecto al porcentaje de C y Mn que contiene dicho componente.

A continuación nombraremos todos los elementos criticos con respecto a cada metal:

1. **Crit. (MA-1)** = FeMnA/C
2. **Crit. (MA-3)** = FeMnA/C
3. **Crit. (MA-3E)** = FeMnA/C, FeMo
4. **Crit. (MA-5)** = FeMnA/C
5. **Crit. (MA-7)** = FeMnA/C
6. **Crit. (MA-8)** = FeMnA/C
7. **Crit. (MA-9)** = FeMnA/C, FeCrA/C, FeMo, Ni.
8. **Crit. (MB-1)** = FeMnA/C, Escamas
9. **Crit. (MB-1E)** = FeMnA/C, Escamas, FeCrA/C, FeMo

10. **Crit. (MB-3)** = FeMnA/C, Escamas, FeCrB/C
11. **Crit. (MB-5)** = FeMnA/C, Escamas, FeMo
12. **Crit. (MB-8)** = FeMnA/C, FeMnB/C
13. **Crit. (MB-9)** = FeMnA/C, FeMnB/C, FeCrA/C
14. **Crit. (MC-2)** = FeCrA/C, FeMo
15. **Crit. (MC-4)** = FeCrA/C, FeMo
16. **Crit. (MC-B)** = FeMnA/C, FeMo
17. **Crit. (ME-1)** = FeMnA/C, FeCrA/C, FeCrB/C
18. **Crit. (MH-1)** = Arrabio, FeMnA/C
19. **Crit. (MH-3)** = Arrabio, FeMnA/C
20. **Crit. (MH-4)** = Arrabio
21. **Crit. (MH-6)** = Arrabio
22. **Crit. (MH-7)** = Arrabio
23. **Crit. (MM-1)** = FeMnA/C, FeCrA/C, FeMo
24. **Crit. (MM-2)** = FeMnA/C, FeCrA/C, FeMo
25. **Crit. (MM-3)** = FeMnA/C, FeCrA/C, FeMo
26. **Crit. (MM-3E)** = FeMnA/C, FeCrA/C, FeMo
27. **Crit. (MX-1)** = Escamas, FeCrA/C, FeMo
28. **Crit. (QAS-1)** = FeMnA/C
29. **Crit. (QAS-3)** = FeMnA/C, FeCrA/C, FeCrB/C, FeMo, Ni

CONDICION 2:

Componentes Estándar por Metal

Existen otros componentes en la colada que no necesitan ser evaluados con respecto a la composición química. Por ser componentes de función antioxidante.

Los componentes y sus cantidades respectivas son nombrados a continuación:

1. **Std. (MA-1)** = Al (6 Kg.), CaSi (6 Kg.)
2. **Std. (MA-3)** = Al (6 Kg.), CaSi (6 Kg.)
3. **Std. (MA-3E)** = Al (6 Kg.), CaSi (6 Kg.)
4. **Std. (MA-5)** = Al (6 Kg.), CaSi (6 Kg.)
5. **Std. (MA-7)** = Al (6 Kg.), CaSi (6 Kg.)
6. **Std. (MA-8)** = Al (6 Kg.), CaSi (6 Kg.)
7. **Std. (MA-9)** = Al (6 Kg.), CaSi (6 Kg.)
8. **Std. (MB-1)** = Al (4 Kg.), CaSi (6 Kg.)
9. **Std. (MB-1E)** = Al (4 Kg.), CaSi (6 Kg.)
10. **Std. (MB-3)** = Al (4 Kg.), CaSi (6 Kg.)
11. **Std. (MB-5)** = Al (4 Kg.), CaSi (6 Kg.)
12. **Std. (MB-8)** = Al (4 Kg.), CaSi (6 Kg.)
13. **Std. (MB-9)** = Al (4 Kg.), CaSi (6 Kg.)
14. **Std. (MC-2)** = Al (4 Kg.), CaSi (6 Kg.)
15. **Std. (MC-4)** = Al (4 Kg.), CaSi (6 Kg.)
16. **Std. (MC-B)** = Al (6 Kg.), CaSi (6 Kg.)
17. **Std. (ME-1)** = Al (9 Kg.), CaSi (6 Kg.)
18. **Std. (MH-1)** = CaSi (6 Kg.), Inoculin (6 Kg.)
19. **Std. (MH-3)** = CaSi (12 Kg.), Inoculin (4 Kg.)
20. **Std. (MH-4)** = CaSi (12 Kg.), Inoculin (4 Kg.)
21. **Std. (MH-6)** = Inoculin (35 Kg.), Nodulizante (140 Kg.)
22. **Std. (MH-7)** = Inoculin (35 Kg.), Nodulizante (140 Kg.)
23. **Std. (MM-1)** = CaSi (6 Kg.)
24. **Std. (MM-2)** = CaSi (6 Kg.)
25. **Std. (MM-3)** = CaSi (6 Kg.)
26. **Std. (MM-3E)** = CaSi (6 Kg.)
27. **Std. (MX-1)** = Al (6 Kg.), CaSi (6 Kg.), FeVa (1.5 Kg.), FeBo (1.5 Kg.)
28. **Std. (QAS-1)** = Al (6 Kg.), CaSi (6 Kg.)
29. **Std. (QAS-3)** = Al (6 Kg.), CaSi (6 Kg.)

3.3.4.3. PSEUDOCODIGO PARA LOS PROCESOS DEL SISTEMA:

En el pseudocódigo, para nuestro análisis, se ha creído conveniente usar algunos de los términos del lenguaje c, es por ello que hemos definido previamente todas las variables pertenecientes a los procedimientos de cálculo.

PROCESO N.1.- INGRESAR CARGA FRÍA Y % DE REGRESO

Como primer proceso ingresaremos la carga fría y el porcentaje de regreso por cada tipo de metal.

La carga fría es un dato genérico para todos los metales y en base a ella se calculara el balance de carga.

El porcentaje de regreso nos permitirá evaluar el comportamiento de los componentes críticos para cada metal.

Cf ← Ingresar el peso de la carga fría (Valores comprendidos entre 5.5 y 6.5 TM Según la capacidad del horno de acería).

For i =1 to m

Cf (i) = Cf

%regreso (i) ← Ingresar porcentaje de regreso por cada metal (i)

Next i

PROCESO N.2.- CALCULAR PESO DE REGRESO

Una vez que tenemos el peso de la carga fría y el porcentaje de regreso por cada metal i , entonces hallamos el peso del regreso para cada metal i .

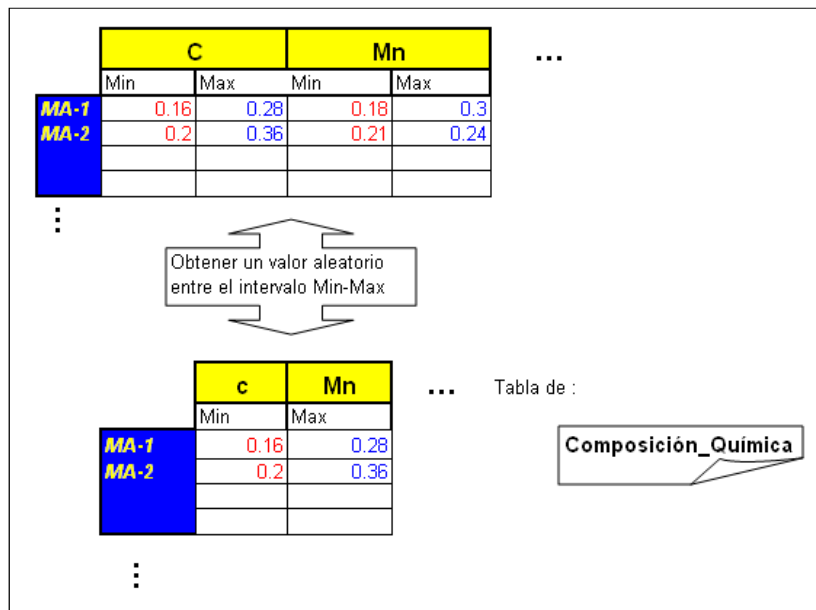
For i = 1 to m

$Peso_regreso(i) = \%regreso(i) * Cf(i)$

Next i

PROCESO N.3.- ESTABLECER LOS LIMITES DE COMPOSICION QUIMICA

Inicialmente tenemos como dato una tabla de doble entrada en donde claramente podemos observar los límites o parámetros químicos establecidos para cada elemento crítico con respecto a cada metal. Estos parámetros son establecidos por el departamento de control de calidad.



A partir de esta descripción grafica establecemos lo siguiente:

$Peso_regreso(i) \longleftarrow$ “Composición química de cada elemento k
con respecto a cada metal i ”.

PROCESO N.4.- ACTUALIZAR COMPOSICIÓN QUÍMICA

Este proceso se efectúa muy raramente, porque la composición química es un tipo de dato casi constante a través del tiempo y la variación en sus valores necesita un minucioso análisis por parte del departamento de control de calidad de la empresa.

```
For i = 1 to m
    For k = 1 to e
         $Cq(i, k) = Edición\_Cq(i, k)$ 
    Next k
Next i
```

PROCESO N.5.- EVALUAR APOORTE PORCENTUAL DEL REGRESO EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA

El regreso sólo se evalúa con el elemento crítico **carbón**, pues este componente de colada es **reutilizable** y no mantiene una eficiencia estándar con respecto a los otros elementos críticos de evaluación.

```
For i = 1 to m
    For k = 1 to e
        For j = 1 to c

             $Eval(i, k, j) = Efi(j, k) * Peso\_regreso(i)$ 

        Next j
    Next k
Next i
```

$$CapU(i, k) = CapU(i, k) + Eval(i, k, j)$$

Next j

Next k

Next i

Donde j=1 que pertenece a la ubicación del componente regreso.

Donde k=1 que pertenece a la ubicación del elemento critico Carbono.

PROCESO N.6.- CÁLCULO DE LA NUEVA CAPACIDAD DISPONIBLE.

Está representado en el proceso N-8 por la siguiente expresión:

$$Capdisp(i, k) = Lim(i, k) - CapU(i, k)$$

PROCESO N.7.- CÁLCULO DEL PESO DE LOS COMPONENTES CRÍTICOS.

Está representado en el proceso N-8 por la siguiente expresión:

$$Cf_0(i, j) = \frac{(Lim(i, k) - CapU(i, k)) * Cf(i)}{Ef_1(j, k)}$$

PROCESO N.8.- EVALUAR APOORTE PORCENTUAL DE LOS COMPONENTES CRITICOS EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA.

Una vez que hemos medido el aporte del regreso con respecto al carbono, pasaremos a calcular el peso de los demás componentes críticos_(j) en la colada_(i) y sus respectivos aportes porcentuales con respecto a cada elemento crítico_(k) de composición química.

Primero iremos obteniendo el peso de cada componente_(j) de acuerdo a la capacidad disponible de cada elemento_(k) con respecto a cada metal_(i) y a la eficiencia de cada componente crítico_(j) con respecto a cada elemento_(k)

Luego se evalúa el aporte en porcentaje de elemento crítico_(k) con respecto al componente crítico_(j)

Por último se genera una nueva capacidad utilizada del elemento crítico_(k) con respecto a cada metal_(i).

For i = 1 to m

For k = 1 to e

For j = 1 to c

$$Cf_{(i,j)} = \frac{(Lim_{(i,k)} - CapU_{(i,k)}) * Cf_{(i)}}{Efi_{(j,k)}}$$

$$Eval_{(i,k,j)} = \frac{(Efi_{(j,k)} - Cf_{(i,j)})}{Cf_{(i)}}$$

$$CapU_{(i,k)} = CapU_{(i,k)} + Eval_{(i,k,j)}$$

Next j

Next k

Next i

PROCESO N.9.- OBTENCION DE LA CARGA FRIA POR METAL.

Los resultados de la tabla La carga_fría_dinámica va siendo llevados uno a uno a la tabla Carga_fria_final como datos resultantes del cálculo.

```
For i = 1 to m  
    For j = 1 to c  
         $Cff(i, j) = Cfd(i, j)$   
    Next j  
Next i
```

PROCESO N.10.- CÁLCULO DEL COSTO POR COLADA DE METAL.

Para el cálculo del costo por colada de metal buscaremos el costo de cada componente de colada j y lo multiplicaremos por el peso de cada componente j de la carga fría obtenida con respecto a cada metal i .

```
For i = 1 to m  
    For j = 1 to c  
         $Costo\_Cff(i) = Cff(i, j) \times Costo(j)$   
    Next j  
Next i
```

Donde:

$Costo(j)$ = costo de cada componente de colada.

$Costo_Cff(i)$ = costo de toda la colada

PROCESO N.11.- CÁLCULO DE LOS INDICES DE PRODUCTIVIDAD.

El índice de productividad es el cociente entre la carga fría producida del metal_(i) y el costo del mismo.

For i = 1 to m

For j = 1 to c

$$\text{Indice_total_productividad (i)} = \sum C_{ff}(i, j) / \text{Costo_Cff (i)}$$

Next j

Next i

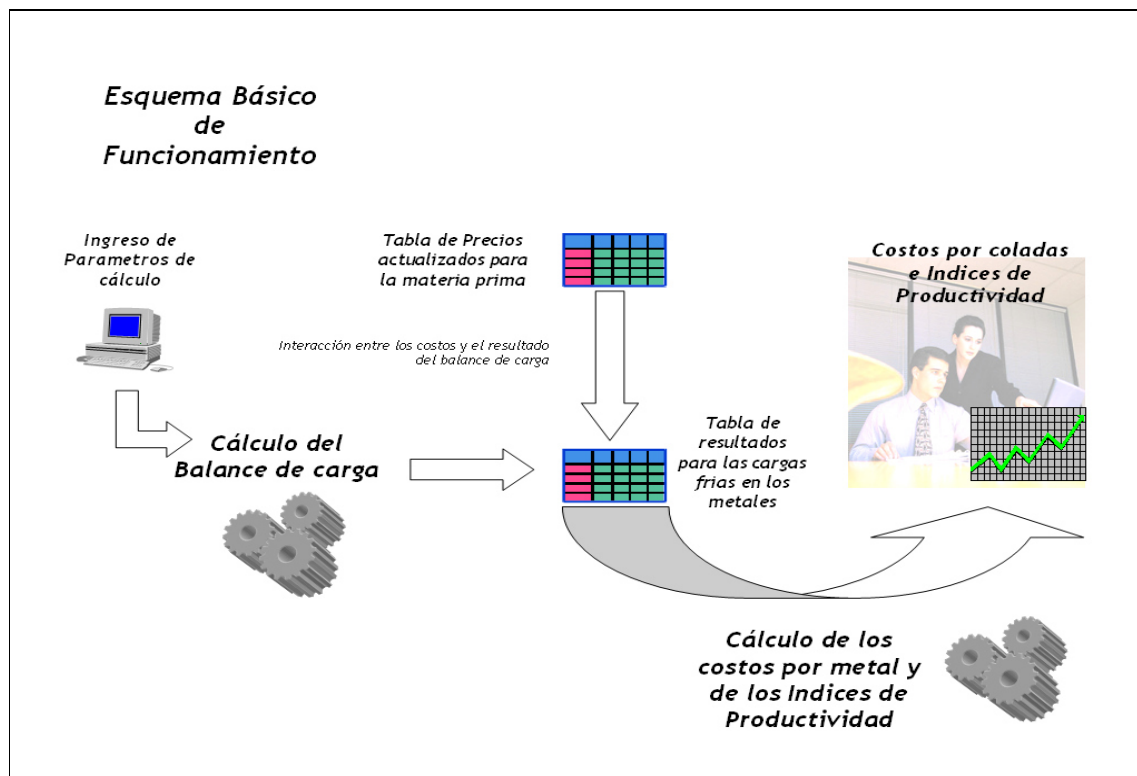
Donde *Indice_total_productividad (i)* es el índice de productividad total de cada metal.

CAPITULO IV.-

INTERFAZ Y USO DEL SISTEMA

4.1.-INTERFAZ DEL SISTEMA

El sistema ha sido creado utilizando macros en Excel y codificación en el editor de visual Basic de Microsoft office 2003. Es muy fácil de usar y su esquema básico de funcionamiento se muestra en el siguiente cuadro:



En el cuadro anterior puede observarse que existe una interrelación fundamental entre los costos de producción y el resultado de los balances de carga, emitidos por el sistema.

Para comenzar a utilizar el programa debemos conocer las variables de entrada, que son: **el peso de la carga fría y el porcentaje de regreso**. La carga fría debe estar entre el intervalo de 5.5 - 6.5 TM y el porcentaje de regreso de 1 a 60%.

El archivo no debe actualizarse en otra PC que no sea la del usuario creador, debido a que los vínculos están relacionados a una lista de precios actualizable.

Interfaz de inicio

Programacion

BALANSOFT

"SISTEMA PARA OBTENER BALANCES DE CARGA E ÍNDICES DE PRODUCTIVIDAD EN LA FUNDICIÓN DE COLADAS DE METAL APLICADO EN EL ÁREA DE COSTOS DE PRODUCCIÓN"

AUTOR : LEO CLAUDIO ÑAUPARI
UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
ASESOR : ING. CARLOS QUISPE ATUNCAR

CALCULO DE LA CARGA ESTANDAR

Opciones de Analisis

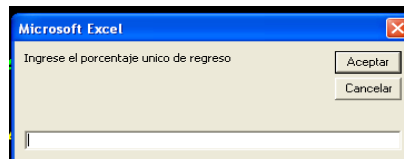
Carga Fria
6000
Editor

☒ Valores Predeterminados
☐ % Unico de Regreso
☐ % de Regresos por cada metal

Ejecutar

Para el ingreso de los datos con respecto al porcentaje de “Regreso”
Existen 3 opciones:

1. **Valores Predeterminados.**- Ejecuta el programa con una lista de valores Estándar en el porcentaje de “Regresos” utilizados. Por el área de Aceria.
2. **% Único de Regreso.**- Ejecuta el programa con un único porcentaje de “Regreso” para todos los metales.



3. **% de Regreso por cada metal.**- Ejecuta el programa editando el porcentaje de “Regreso” para cada metal.



Para los tres casos se presionará la opción [Ejecutar], y se tendrá automáticamente como resultado la siguiente ventana:

CARGA ESTÁNDAR DE ACERÍA SIN CHATARRA ALEADA Y COSTO VARIABLE POR COLADA

	Chatarra	Regresos	Arrabio	Cobre	Fe Mn ALC	Fe Mn BRC	Escamas	Fe-Si	Fe Cr ALC	Fe Cr BRC	Fe Mo	Nickel	Aluminio	Ca Si	Fe Ys	Graphitos	Inoculante	Fe B	TOTAL	% REGRESOS	EFICIENCIA METALICA STD	TAP TO TAP STD (MIN)	TAP TO TAP STD (HORAS)	COSTO TOTAL POR COLADA (US\$)	COSTO UNITARIO POR COLADA (US\$/KG)
MA-1	4,367	1,500			41			80					6	6					6,000	25.00%	90.90%	180	3	1732.29	0.32
MA-3	4,085	1,740			100			65					4	6					6,000	23.00%	90.90%	180	3	1744.32	0.32
MA-3E	4,287	1,500			109			80			12		6	6					6,000	25.00%	90.90%	180	3	2637.82	0.49
MA-4	4,307	1,560			41			80					6	6					6,000	26.00%	90.90%	180	3	1718.04	0.32
MA-5	4,317	1,560			31			80					6	6					6,000	26.00%	90.90%	180	3	5745.24	1.05
MA-9	4,221	1,500			57			80	61		26	43	6	6					6,000	25.00%	90.90%	180	3	5745.24	1.05
MB-1	3,584	1,500			723		103	80					4	6					6,000	25.00%	87.00%	180	3	2964.29	0.57
MB-3	3,446	1,500			723		103	80		138			4	6					6,000	25.00%	87.00%	180	3	3259.89	0.62
MB-5	3,511	1,500			723		103	80			73		4	6					6,000	25.00%	87.00%	180	3	7318.30	1.40
MB-8	4,863	0			948		99	80					4	6					6,000	0.00%	87.00%	180	3	3570.33	0.68
MB-9	4,680	0			985		140	80	56				4	6		50			6,000	0.00%	87.00%	180	3	4181.31	0.80
MC-2	4,238	1,500						70	163		19		4	6					6,000	25.00%	90.90%	120	2	2765.38	0.51
MC-4	4,231	1,500						70	170		19		4	6					6,000	25.00%	90.90%	120	2	2884.68	0.53
MC-B	4,346	1,500			55			80			7		6	6					6,000	25.00%	90.90%	120	2	2280.73	0.41
ME-1	1,322	1,398			43			100	700	1,239			9	6					6,000	33.00%	90.90%	180	3	5514.68	1.03
MH-1	1,113	1,020	3,710		36			100					0	18					6,000	17.00%	93.50%	120	2	3329.33	0.59
MH-4	0	0	5,844					140					0	12			4		6,000	0.00%	93.50%	120	2	4586.47	0.82
MH-6	0	0	5,885					40					0	0		35	40		6,000	0.00%	93.50%	120	2	4895.08	0.87
MH-7	0	0	5,803	39	44			40					0	0					6,000	0.00%	93.50%	120	2	5122.88	0.91
MM-1	2,969	1,500			52			40	1,353		80		0	6					6,000	25.00%	90.90%	150	2.5	7645.95	1.40
MM-2	3,191	1,500			52			40	1,143		69		0	6					6,000	25.00%	90.90%	120	2	6854.24	1.26
MM-3	2,628	1,500			52			40	1,703		71		0	6					6,000	25.00%	90.90%	150	2.5	7918.11	1.45
MM-3E	2,419	1,500			52			40	1,913		71		0	6					6,000	25.00%	90.90%	150	2.5	8018.17	1.47
MX-1	4,105	1,500					42	160	145		33		6	6	2			2	6,000	25.00%	90.90%	240	4	4227.41	0.78
QAS-1	4,357	1,500			51			80					6	6					6,000	25.00%	90.90%	180	3	1748.69	0.32
QAS-3	4,181	1,500			46			80	61		25	95	6	6					6,000	25.00%	90.90%	180	3	8943.80	1.64

[Calculo](#) /
 [Carga Std. Costeo](#) /
 [Composicion Química](#) /
 [Eficien. Elem.](#) /
 [Resultados](#) /
 [Exp. Datos](#) /
 [Reportes](#)

Ventana, donde claramente se puede apreciar el balance de carga por cada metal con respecto al peso de todos sus componentes.

Asimismo a la derecha de la ventana podemos observar el “costo asignado” para cada colada de metal con respecto a su balance de carga calculado.

Los datos de eficiencia metálica y el “Tap to Tap”, son datos estándares que no forman parte del cálculo.

Si nos dirigimos con el puntero del Mouse hacia la parte inferior de la ventana podremos observar también el calculo de los índices de

productividad totales por cada metal con respecto al costo de su colada (carga fría).

ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD				
	Kg_Metal / US\$_Metal		Var. %	
MA-1	3.45	3.46	0.4%	El índice de productividad se incrementó en un 0.4 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 25% de regreso en este metal
MA-3	3.36	3.44	2.3%	El índice de productividad se incrementó en un 2.3 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 29% de regreso en este metal
MA-3E	2.11	2.27	7.9%	El índice de productividad se incrementó en un 7.9 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 25% de regreso en este metal
MA-4	3.49	3.49	0.0%	El índice de productividad a este porcentaje de regreso es indiferente, pues no muestra ninguna mejora
MA-5	1.04	1.04	0.7%	El índice de productividad se incrementó en un 0.7 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 26% de regreso en este metal
MA-9	1.04	1.04	0.7%	El índice de productividad se incrementó en un 0.7 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 25% de regreso en este metal
MB-1	1.69	2.02	19.6%	El índice de productividad se incrementó en un 19.6 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 25% de regreso en este metal
MB-3	1.56	1.84	17.9%	El índice de productividad se incrementó en un 17.9 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 25% de regreso en este metal
MB-5	0.75	0.82	9.3%	El índice de productividad se incrementó en un 9.3 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 25% de regreso en este metal
MB-8	1.39	1.68	20.9%	El índice de productividad se incrementó en un 20.9 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 0% de regreso en este metal
MB-9	1.22	1.43	17.3%	El índice de productividad se incrementó en un 17.3 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 0% de regreso en este metal
MC-2	2.08	2.17	4.5%	El índice de productividad se incrementó en un 4.5 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 25% de regreso en este metal
MC-4	1.99	2.08	4.7%	El índice de productividad se incrementó en un 4.7 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 25% de regreso en este metal
MC-B	2.63	2.65	0.9%	El índice de productividad se incrementó en un 0.9 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 25% de regreso en este metal
ME-1	1.19	1.07	-10.3%	El índice de productividad se decrementó en un -10.3 %. Por lo tanto, No es conveniente el uso de un 33% de regreso en este metal
MH-1	1.99	1.80	-9.4%	El índice de productividad se decrementó en un -9.4 %. Por lo tanto, No es conveniente el uso de un 17% de regreso en este metal
MH-4	1.31	1.31	-0.4%	El índice de productividad se decrementó en un -0.4 %. Por lo tanto, No es conveniente el uso de un 0% de regreso en este metal
MH-6	1.20	1.23	2.1%	El índice de productividad se incrementó en un 2.1 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 0% de regreso en este metal
MH-7	1.15	1.17	1.5%	El índice de productividad se incrementó en un 1.5 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 0% de regreso en este metal
MM-1	0.75	0.78	4.4%	El índice de productividad se incrementó en un 4.4 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 25% de regreso en este metal
MM-2	0.82	0.88	7.0%	El índice de productividad se incrementó en un 7 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 25% de regreso en este metal
MM-3	0.73	0.76	3.9%	El índice de productividad se incrementó en un 3.9 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 25% de regreso en este metal
MM-3E	0.72	0.75	3.7%	El índice de productividad se incrementó en un 3.7 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 25% de regreso en este metal
MX-1	1.36	1.42	4.5%	El índice de productividad se incrementó en un 4.5 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 25% de regreso en este metal
QAS-1	3.41	3.43	0.6%	El índice de productividad se incrementó en un 0.6 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 25% de regreso en este metal
QAS-3	0.60	0.67	12.2%	El índice de productividad se incrementó en un 12.2 %. Por lo tanto, es conveniente el uso de un 25% de regreso en este metal

Esta nueva interfaz describe el comportamiento del nuevo índice de productividad hallado, con respecto a los valores de productividad estándar que maneja el área de Acería.

4.2.-ANALISIS DE RESPUESTAS.

- Cuando la variación entre los índices de productividad es cero, es porque no existe ninguna mejora en la productividad de la carga fría calculada con respecto a la carga fría estándar.

MA-4	3.49		3.49		0.0%
------	------	--	------	--	------

- Cuando la variación entre los índices de productividad es menor a cero, entonces no es conveniente usar este porcentaje de regreso para este metal.

ME-1	1.19		1.07		-10.3%
MH-1	1.99		1.80		-9.4%
MH-4	1.31		1.31		-0.4%

- Cuando la variación entre los índices de productividad es mayor a cero, entonces si es conveniente usar este porcentaje de regreso para este metal.

MA-9	1.04		1.04		0.7%
MB-1	1.69		2.02		19.6%
MB-3	1.56		1.84		17.9%

Una vez hallado todos los resultados podemos pasar analizar el comportamiento de cada metal con respecto a todas las variables de las que esta compuesto.

Existe otra ventana, cuyos datos son poco frecuentes en su edición. Esta ventana muestra las eficiencias de cada componente con respecto a cada elemento crítico de colada.

MÓDULO:
EDICIÓN DE EFICIENCIAS

Actualizar los valores de eficiencia

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	cu
Chatarra	0%								
Regresos									
Aleada									
Arrabio	4%								
Cobre									70%
Fe Mn A/C	7%	75%	0%	0%	0%				
Fe Mn B/C	2%	80%	1%	0%	0%				
Escamas	0%	90%	0%	0%	0%				
Fe-Si	1%	1%	75%						
Fe Cr A/C	8%		3%	0%	0%	64%			
Fe Cr B/C	0%			1%	0%	0%	72%		
Fe Mo			0%	0%	0%		64%		0%
Nickel								90%	
Aluminio									
Ca Si	0%		61%		0%				
Fe Va	0%		1%	0%	0%				
Graphidox									
Inoculin									
Nodulizante									
Fe B									

Guardar
Reestablecer Valores

► ◄ | Cálculo / Carga Std_Costeo / Composicion_Química / **Eficien_Elem** / Resultados / Exp_Datos /

89

CAPITULO V.-

DISCUSION DE RESULTADOS

Durante la aplicación del software en nuestro sistema de costeo (SIC) hemos obtenido los siguientes resultados:

- A. En el caso de haber obtenido, un índice de productividad mayor, al establecido por el estándar de acería, deducimos que la combinación de los componentes en la colada es la adecuada para obtener un metal de características metalúrgicas similares al metal estándar, pero a un menor costo. Esto debido a que se utilizó mayor cantidad de material reutilizable (Regresos) y aún así se alcanzo teóricamente la composición química estándar que maneja el departamento de control de calidad.
- B. No necesariamente, la carga fría que podamos hallar es la adecuada para ser cargada al horno, esto debido a que los regresos, en forma general, mantienen una composición química demasiado variable e incierta.

En la actualidad hacer un balance de carga en el área de Acería, es demasiado tedioso, en lugar de esto lo que se hace, es cargar una cantidad predeterminada de regreso, chatarra y ferroaleaciones (Tomando como referencia la carga fría estándar) mientras se va analizando el comportamiento de la composición química mediante una toma de **muestras** cada cierto tiempo.

De acuerdo a los puntos A y B, podemos inferir que el cálculo teórico será totalmente efectivo cuando exista un análisis previo de la composición química del regreso. Entonces a este nivel de análisis, podremos determinar con precisión el aporte porcentual del regreso en la composición química de la colada antes de ser llevado al horno.

- C. En los casos en los que la diferencia de índices de productividad hallado es menor o igual a cero, no es recomendable utilizar la carga calculada. Debido a que no se obtiene ninguna mejora con respecto a la carga estándar que maneja acería y en todo caso el costo es mayor.
- D. Uno de los resultados mas requerido por nuestros usuarios es la obtención del costo de una colada de metal con una composición química alternativa. Debido a que estos resultados han sido de mucha importancia para tomar la decisión de si se funde o no, dicha colada.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES CON RESPECTO AL PROCESO DE BALANCE DE CARGA Y PRODUCTIVIDAD.

Balansoft se encarga de hacer un balance de carga que es el paso inicial para determinar que cantidad componentes deben ser cargados al horno. El resultado teórico de estos componentes es relacionado con los costos de cada componente para hallar el índice de productividad y los costos por aleación (colada de metal).

El índice de productividad total hallado, establece la relación entre el peso total calculado de carga fría y el costo total del la colada.

Es entonces, que el análisis que se hace al comparar el índice hallado con el índice de productividad que maneja acería, nos determina si estamos utilizando teóricamente de la manera mas adecuada los recursos para obtener una colada de metal con características metalúrgicas similares al estándar pero a un menor costo.

Los resultados arrojados por Balansoft han sido de mucha utilidad para determinar si una colada de metal puede realizarse o no, debido a que “si obtenemos” como resultado teórico una colada de metal que tiene un costo muy elevado o que consume algún tipo especial de material (que es muy caro), lo mas probable es que descartemos la posibilidad de realizarla.

Por otro lado, en la actualidad la carga estándar de todas nuestras piezas pueden ser manejadas por este programa y variar en su costo metálico de una manera muy flexible.

CONCLUSIONES CON RESPECTO AL ENTORNO EN EL QUE FUNCIONA BALANSOFT.

El programa de carga estándar “**Balansoft**” comprende todo un módulo dentro del costeo estándar de las piezas de acero que fabricamos.

Este módulo representa aproximadamente el 60% del costo total de la pieza; He Aquí, la importancia de establecer nuevas cargas estándares.

Lo más importante es la flexibilidad con la que se pueden manejar escenarios simulados en la composición de coladas. Pues manejar teóricamente esta variabilidad nos permitirá manejar también una variabilidad teórica en los costos.

Por ejemplo: si en un mes determinado, como materiales de producción disponemos de una gran cantidad de regresos, podríamos nosotros **pronosticar** cual es la cantidad de este regreso y de la materia prima apropiada a utilizar para obtener un metal bueno. De esta manera generaríamos un escenario en el cual el ahorro en el costo del metal es factible.

Por ser motor o base de calculo en el costeo del proceso productivo en la etapa de acería, (Proceso que comprende la mayor parte del costo variable de una pieza de acero), podemos extender nuestro análisis a resolver las siguientes interrogantes: ¿Cuánto me cuesta una pieza de acero con una carga fría alternativa? y ¿Cuánto me cuesta una pieza de acero con una composición química alternativa?

RECOMENDACIONES

“BALANSOFT”, sólo tiene un impacto realmente razonable en el área de Costos de Producción, esto debido a que su aproximación en el cálculo es demasiado teórica. Lo que se recomienda para tener un impacto razonable en el área de Acería es manejar un análisis previo de composición química en los regresos.

Según este criterio, lo que lograríamos es aproximar de manera más precisa nuestro balance de carga calculado, a los parámetros o límites de composición química establecidos por el departamento de control de calidad.

El proyecto debe servir como base para un posterior estudio en la composición química, y porque no extenderse o mejor dicho transformarse de un sistema monousuario a uno multiusuario y en una plataforma más avanzada.

BIBLIOGRAFIA

- <http://www.mepesa.com/mepesa.html> *(Hacen*
referencia a la CLASIFICACION DE ACEROS EN LA EMPRESA METALURGICA MEPSA, PAG
43-54 DE LA TESINA)

- Introducción a la Metalurgia Física, autor Sydney H. Avner- editora
Mc Graw-Hill/Interamericana de México. Segunda Edición
(Hacen referencia al MARCO TEORICO DE LAS ALECCIONES HIERRO CARBONO Y DE LOS
ACEROS ALEADOS - , PAG 19-42 DE LA TESINA)

- <http://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica4/fases%20del%20acero.htm>
(Hacen referencia al MARCO TEORICO FORMAS ALOTROPICAS DEL HIERRO - PAG 16-19
DE LA TESINA)

- <http://www.esi2.us.es/IMM2/Pract-html/diagrama.html>